

TUGAS AKHIR - MN141581

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN KONSTRUKSI MEMANJANG PADA PRODUKSI KAPAL PATROLI 60 METER DENGAN MATERIAL LAMBUNG BAJA TEGANGAN TINGGI (*HIGH TENSILE STEEL*)

UMAIRATUS SALSABILA
NRP. 4111 100 055

Pembimbing
Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.
Imam Baihaqi, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

FINAL PROJECT - MN141581

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF THE
APPLICATION OF LONGITUDINAL STIFFENING
SYSTEM IN MANUFACTURING 60 METERS PATROL
SHIP USING HIGH TENSILE STEEL AS HULL
MATERIAL**

UMAIRATUS SALSABILA
NRP. 4111 100 055

Supervisor
Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.
Imam Baihaqi, S.T., M.T.

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING
ENGINEERING**
Faculty of Marine Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

KATA PENGANTAR

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. dan Imam Baihaqi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, atas semua ilmu dan waktu yang telah diberikan dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku dosen wali penulis atas tuntunan yang telah diberikan.
3. Ir. Wasis Dwi Ariawan, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
4. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberi dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman P51- CENTERLINE yang telah menemani dan memberikan dukungan dari awal mahasiswa baru sampai laporan Tugas Akhir ini selesai.
6. Teman-teman satu Jurusan Teknik Perkapalan yang berjuang bersama di Kampus ITS dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam proses penulisan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah dilakukan.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat yang sebesar-besarnya.

Surabaya, 25 Januari 2016

Umairatus Salsabila

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN KONSTRUKSI MEMANJANG PADA PRODUKSI KAPAL PATROLI 60 METER DENGAN MATERIAL LAMBUNG BAJA TEGANGAN TINGGI (HIGH TENSILE STEEL)

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Industri Perkapalan
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

UMAIRATUS SALSABILA
NRP. 4111 100 055

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I

Dosen pembimbing II

Ir. Triwilaswandio W. P., M.Sc.
NIP. 19610914 198701 1 001



Imam Baihaqi, S.T, M.T.
NIP. 19890128201504 1 003

SURABAYA, Januari 2016

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN KONSTRUKSI MEMANJANG PADA PRODUKSI KAPAL PATROLI 60 METER DENGAN MATERIAL LAMBUNG BAJA TEGANGAN TINGGI (*HIGH TENSILE STEEL*)

Nama Mahasiswa : Umairatus Salsabila
NRP : 4111 100 055
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.
2. Imam Baihaqi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Di beberapa galangan kapal Indonesia saat ini sedang dibangun kapal patroli 60 m. Beberapa kapal tersebut dibangun dengan konstruksi memanjang. Hal ini bertentangan dengan paradigma masyarakat yang menyatakan bahwa kapal-kapal pendek (di bawah 90 m) sebaiknya dibangun dengan konstruksi melintang. Penggunaan konstruksi memanjang ini mempengaruhi teknis dan ekonomis produksi kapal keseluruhan. Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk memberikan analisa teknis dan ekonomis tentang penggunaan konstruksi memanjang pada kapal patroli 60 m. Pertama, dilakukan analisa tentang produksi kapal patroli 60 m yang ada saat ini. Analisa berkaitan dengan berat konstruksi kapal dan berat logam lasnya. Kedua, dilakukan simulasi pembangunan kapal menggunakan metode blok, seksi dan kerangka. Ketiga, dilakukan analisa teknis dan ekonomis pembangunan kapal dengan metode yang diajukan. Analisa teknis berkaitan dengan kebutuhan *crane* dan JO pada tiap tahap produksi. Analisa ekonomis berkaitan dengan kebutuhan pengadaan *crane*. Dari analisa yang dilakukan, didapat bahwa dalam pembangunan kapal patroli 60 m konstruksi memanjang, dibutuhkan material baja tegangan tinggi dengan berat 87,94 ton dan elektrode FCAW dengan berat 4,633 ton. Metode produksi yang diajukan adalah metode blok karena dapat memaksimalkan pekerjaan pengelasan pada tahap *assembly* menjadi 91% JO. Penggunaan metode blok membutuhkan *crane* dengan kapasitas minimum 25 ton. Biaya sewa *crane* bernilai sekitar Rp 26.000.000,00, pembelian pelat senilai Rp 1.100.119.798,58 dan pembelian elektrode senilai Rp 92.652.556,69.

Kata kunci: analisa, ekonomis, konstruksi, produksi, teknis

TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF THE APPLICATION OF LONGITUDINAL STIFFENING SYSTEM IN MANUFACTURING 60 METERS PATROL SHIP USING HIGH TENSILE STEEL AS HULL MATERIAL

Author : Umairatus Salsabila
ID No. : 4111 100 055
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering /
Marine Technology
Supervisors : 1. Ir. Triwilaswandio Wuruk Probadi, M.Sc.
2. Imam Baihaqi, S.T., M.T.

ABSTRACT

Some shipyards in Indonesia have manufactured 60 m patrol ships. Some of those ships were constructed using longitudinal stiffening system. This fact was in the contrary with common paradigm state that small vessels (less than 90 m length) should be constructed using transversal stiffening system. This application of longitudinal stiffening system in ship production might affect technical and economical factor. The objective of this final project is to provide technical and economical analysis of the application of longitudinal stiffening system. Firstly, recent production process of 60 m patrol ship is analysed. This analysis was related to ship steel weight and weld metal required. Secondly, ship building using block, section and skeleton method are simulated. Thirdly, in term of technical and economical factor of building method selected is then analysed. Technical analysis was related to crane capacity and man power required during manufacturing process. Economical analysis was related to cost for provisioning crane required. The outcome of this final project is a set of technical and economical analysis of manufacturing 60 m patrol ship using longitudinal stiffening system. To produce such a ship, material required is 87,95 ton high tensile steel material and 4,633 ton FCAW wire electrode. Building method selected was block method because this method could maximize welding work load in assembly stage up to 91% JO. Block method require crane with 25 ton capacity minimum. This crane rental cost is about Rp 26.000.000,00. The other production cost are Rp 1.100.119.798,58 and Rp 92.652.556,69 for high tensile steel material and FCAW wire electrode purchase.

Keywords: analysis, construction, economical, production, technical,

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR REVISI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kapal Patroli.....	5
2.2 Material Lambung Kapal Patroli.....	7
2.2.1 Alumunium	8
2.2.2 Baja Roll	9
2.3 Konstruksi kapal	16
2.4 Pekerjaan Pembangunan Kapal.....	20
2.4.1 Straightenning	21
2.4.2 <i>Cutting</i>	21
2.4.3 <i>Forming</i>	21
2.4.4 Penggabungan Material	22
2.4.5 <i>Material Handling</i>	40
2.5 Teknis Produksi Kapal	41
2.5.1 <i>Subassembly</i>	41

2.5.2	<i>Assembly</i>	42
2.5.3	<i>Joining</i>	49
2.6	Biaya Produksi Kapal	54
2.6.1	Biaya Material	55
2.6.2	Biaya Tenaga Kerja	55
2.6.3	Biaya Peralatan Produksi	55
BAB III METODOLOGI		57
3.1	Diagram Alir Pengerjaan	57
3.2	Studi Literatur dan Pengumpulan Data	58
3.3	Pembuatan Desain	58
3.4	Simulasi Proses Produksi Kapal	58
3.5	Analisa Produksi kapal	58
3.6	Kesimpulan dan Saran	59
3.7	Penulisan Laporan	59
BAB IV PENGUMPULAN DAN PERHITUNGAN DATA PROSES PRODUKSI		61
4.1	Ukuran Utama	61
4.2	Profil Konstruksi Kapal	61
4.3	Proses Produksi Kapal	62
4.3.1	<i>Assembly</i>	62
4.3.2	<i>Joining</i>	63
4.4	Data Beban Pekerjaan	65
4.5	Data Kebutuhan Ekonomis	67
4.5.1	Daftar Harga Sewa <i>Crane</i>	67
4.5.2	Kebutuhan Material Langsung	67
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN		69
5.1	Analisa Proses Produksi	69
5.1.1	Analisa Proses Fabrikasi	70
5.1.2	Analisa Proses <i>Subassembly</i>	70
5.1.3	Analisa Proses <i>Assembly</i>	70
5.1.4	Analisa Proses <i>Joining</i>	71
5.2	Analisa Beban Pekerjaan	72
5.3	Analisa Ekonomis	73
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		75

6.1	Kesimpulan	75
6.2	Saran	75
	DAFTAR PUSTAKA.....	77
	LAMPIRAN	79
	BIODATA PENULIS	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh tipe-tipe kapal patroli dari salah satu <i>shipbuilder</i>	6
Tabel 2.2 <i>Mechanical properties</i> untuk baja biasa	11
Tabel 2.3 Kondisi <i>supply</i> untuk baja biasa.....	11
Tabel 2.4 Komposisi kimia dan perlakuan deoksidasi untuk baja biasa	12
Tabel 2.5 Nilai faktor efisiensi material (η_{HTS})	13
Tabel 2.6 <i>Mechanical properties</i> untuk baja berkekuatan tinggi.....	13
Tabel 2.7 Kondisi <i>Supply</i> untuk baja berkekuatan tinggi untuk pelat.....	14
Tabel 2.8 Komposisi kimia untuk <i>higher strength steel</i>	14
Tabel 2.9 Komposisi kimia untuk baja berkekuatan tinggi (<i>quenched</i> dan <i>tempered</i>)	15
Tabel 2.10 <i>Mechanical properties</i> untuk material <i>higher strength steel</i> (<i>quenched</i> dan <i>tempered</i>)	15
Tabel 2.11 Sistim konstruksi kapal	17
Tabel 2.12 persyaratan kelas dan grade material untuk kategori penegar	19
Tabel 2.13 Kelas/grade material.....	20
Tabel 2.14 Kapabilitas beberapa proses penggabungan material	24
Tabel 2.15 Karakteristik pengelasan menggunakan mesin las AC dan DC.....	29
Tabel 2.16 Posisi pengelasan butt joint.....	35
Tabel 2.17 Posisi pengelasan fillet joint.....	37
Tabel 2.18 Produktifitas pengelasan berdasarkan posisinya	38
Tabel 2.19 Efisiensi penggunaan elektrode pada beberapa metode pengelasan	39
Tabel 4.1 Daftar penegar kapal patroli 60 m konstruksi memanjang	61
Tabel 4.2 Pembagian seksi badan kapan dengan kapasitas <i>crane</i> 5 ton	63
Tabel 4.3 Pembagian blok dengan kapasitas <i>crane</i> 25 ton	64
Tabel 4.4 Beban pengelasan blok 2.....	66
Tabel 4.5 Beban pekerjaan seksi	66
Tabel 4.6 Beban pengelasan kapal patroli 60 m.....	66
Tabel 4.7 Harga mobile <i>crane</i>	67
Tabel 4.8 Daftar kebutuhan material pelat	67
Tabel 4.9 Daftar kebutuhan elektrode las.....	68
Tabel 5.1 perbandingan produksi kapal dengan metode blok, seksi dan kerangka	69
Tabel 5.2 Proses produksi di bengkel-bengkel produksi.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal patroli 60 m (KRI Sampari) milik TNI AL.....	5
Gambar 2.2 Sistem konstruksi memanjang (kiri) dan sistem konstruksi melintang (kanan)	17
Gambar 2.3 Proses pengerolan.....	21
Gambar 2.4 Proses <i>forming</i> mekanis dengan mesin roll	22
Gambar 2.5 Pembentukan pelat dengan <i>line heating</i>	22
Gambar 2.6 Proses pengelasan SAW	25
Gambar 2.7 Proses pengelasan SMAW	27
Gambar 2.8 Karakteristik arus pada pengelasan SMAW	30
Gambar 2.9 Proses pengelasan GMAW	31
Gambar 2.10 Proses pengelasan FCAW	33
Gambar 2.11 Posisi untuk pengelasan pengelasan <i>butt joint</i>	36
Gambar 2.12 Posisi pengelasan untuk <i>butt joint</i>	36
Gambar 2.13 Posisi pengelasan untuk <i>fillet joint</i>	37
Gambar 2.14 Posisi untuk pengelasan pengelasan <i>fillet joint</i>	38
Gambar 2.15 Pengukuran dimensi penampang kampuh las	39
Gambar 2.16 <i>Conveyor</i>	40
Gambar 2.17 Beberapa jenis <i>crane</i>	41
Gambar 2.18 Pengerjaan <i>subassembly</i> di atas meja <i>assembly</i>	42
Gambar 2.19 <i>Assembly platform</i>	42
Gambar 2.20 Panel datar	43
Gambar 2.21 Panel 3D	43
Gambar 2.22 <i>Assembly</i> blok haluan diatas <i>assembly platform</i>	46
Gambar 2.23 Konstruksi alas kapal patroli 60 m konstruksi memanjang.....	46
Gambar 2.24 <i>Ring section</i>	48
Gambar 2.25 Pemindahan blok badan kapal dari <i>assembly platform</i>	52
Gambar 2.26 Pemindahan blok dari <i>assembly area</i> ke <i>building berth</i> menggunakan <i>crawler</i>	52
Gambar 2.27 Penggabungan dua buah <i>block</i> di <i>building berth</i>	53
Gambar 2.28 Pembagian biaya dalam produksi kapal	54
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	57
Gambar 4.1 Alur pembangunan blok dari seksi-seksi.....	63
Gambar 4.2 Alur penggabungan seksi di builing berth.....	64
Gambar 4.3 Alur penggabungan blok badan kapal di <i>building berth</i>	65
Gambar 4.4 pembangunan kapal dengan metode kerangka	65
Gambar 5.1 Perbandingan kebutuhan JO pengelasan pada tiap bengkel untuk metode blok dan seksi	73

LAMPIRAN

1. *Lines plan*
2. *General arrangement*
3. *Midship section*
4. *Construction profile*
5. *Welding detail*
6. *Block division*
7. *Section division*
8. *Frame erection*
9. *Section assembly untuk 3D section*
10. *Section assembly untuk flat section*
11. *Block assembly*
12. Perhitungan konstruksi *LR-Rules and Regulation for Classification of Special Service Craft*
13. Perhitungan berat baja
14. Perhitungan kebutuhan electrode
15. Perhitungan kebutuhan JO

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, beberapa galangan kapal sedang membangun kapal patroli 60 m. Kapal ini dibangun menggunakan konstruksi memanjang dengan penegar yang didominasi oleh pembujur berupa *flat bar* yang disusun dengan jarak 300-350 mm dan disangga oleh pelintang yang dipasang pada jarak 800 mm. Penggunaan konstruksi memanjang pada kapal ini berlawanan dengan paradigma desain masyarakat yang menyatakan bahwa kapal-kapal pendek (panjang kurang dari 90 m) sebaiknya dibangun dengan konstruksi melintang.

Dengan adanya perubahan desain pada kapal patroli 60 m, maka teknologi pembangunannya harus disesuaikan. Jika tidak, desain baru ini akan menyebabkan banyak permasalahan ketika dieksekusi. Hal ini terbukti saat pembangunan kapal patroli di salah satu galangan kapal Indonesia, dimana kapal dibangun dengan metode blok. Pada saat pembangunannya, ada beberapa permasalahan yang timbul pada tahap *block assembly* dan *block joining*. Pada tahap *assembly*, permasalahan yang timbul antara lain lamanya waktu pengerjaan karena sistem konstruksi didominasi oleh pembujur yang dipasang rapat. Banyaknya pembujur yang dipasangkan ini juga membuat proses pengelasan menjadi lama dan jumlah konsumsi elektroda menjadi banyak. Pada tahapan *block joining*, timbul permasalahan ketika ujung dua buah *block* dipasangkan. Pada garis pertemuan antar blok, ada ketidaklurusan (*missalignment*) dan celah (*gap*) di beberapa lokasi. Hal ini menyebabkan banyak *rework* yang harus dilakukan sehingga beban pekerjaan produksi menjadi semakin banyak.

Jenis material yang digunakan untuk membangun kapal ada beberapa jenis. Pada kapal baja, umumnya digunakan material *mild steel* (baja karbon ringan). Namun beberapa beberapa jenis kapal dengan tujuan dan fungsi tertentu harus menggunakan material khusus. Salah satu material khusus tersebut adalah baja tegangan tinggi. Proses produksi kapal dengan material baja tegangan tinggi memiliki tingkat kesulitan yang lebih tinggi dari pada material *mild steel*. Apa lagi hal ini diaplikasikan pada kapal patroli 60 m konstruksi memanjang.

Dari permasalahan di atas, maka perlu dilakukan suatu analisa untuk membahas mengapa pada pembangunan kapal ini timbul permasalahan-permasalahan tersebut, baik dari segi konstruksi maupun proses produksinya. Sehingga bisa dibuat suatu rekomendasi bagaimanakah sebaiknya kapal patroli 60 m konstruksi memanjang sebaiknya dibangun. Dengan tujuan-tujuan tersebut, maka diangkatlah sebuah judul tugas akhir “**Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Konstruksi Memanjang pada Pembangunan Kapal Patroli 60 m dengan Material Lambung Baja Tegangan Tinggi (*High Tensile Steel*)**”

1.2 Rumusan Masalah

Dengan melihat latar belakang masalah di atas, maka pokok permasalahan yang harus dipecahkan antara lain:

1. Bagaimanakah pembangunan kapal patroli 60 m saat ini?
2. Bagaimanakah teknis pembangunan kapal patroli 60 konstruksi memanjang dengan material baja tegangan tinggi?
3. Bagaimanakah implikasi ekonomis dari penggunaan konstruksi memanjang pada produksi kapal patroli 60 m dengan material baja tegangan tinggi?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari tugas akhir ini adalah untuk memberikan metode alternatif pembangunan kapal-kapal pendek menggunakan konstruksi memanjang.

Tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Untuk memberikan gambaran pembangunan kapal patroli 60 yang ada saat ini.
2. Untuk memberikan analisa teknis pembangunan kapal patroli 60 konstruksi memanjang dengan material baja tegangan tinggi
3. Untuk memberikan analisa ekonomis dari penggunaan konstruksi memanjang pada produksi kapal patroli 60 m dengan material baja tegangan tinggi

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan dari pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

1. Proses produksi kapal yang ditinjau adalah proses pembangunan lambung kapal.
2. Konstruksi kapal sesuai dengan peraturan Lloyd’s Register – *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*.
3. Desain kapal secara umum mengacu pada kapal patroli yang saat ini dibangun di galangan-galangan kapal *sampling*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Memberikan informasi tentang bagaimana kapal patroli 60 m saat ini dibangun.
2. Memberikan analisa teknis pembangunan kapal patroli 60 konstruksi memanjang dengan material baja tegangan tinggi.
3. Memberikan analisa ekonomis dari penggunaan konstruksi memanjang pada produksi kapal patroli 60 m dengan material baja tegangan tinggi.

1.6 Hipotesis

Hipotesis awal dalam penelitian tugas akhir ini adalah kapal patroli 60 m dengan material baja tegangan tinggi dapat dibangun dengan konstruksi memanjang menggunakan metode blok.

1.7 Sistematika Penulisan Laporan

Laporan resmi Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat meliputi latar belakang masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan dari tugas akhir yang disusun.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan produksi kapal patroli 60 m konstruksi memanjang

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi langkah – langkah selama penelitian, mulai dari tahap pengumpulan data hingga penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PERHITUNGAN DATA PROSES PRODUKSI

Bab ini berisi kumpulan data mengenai proses produksi kapal yang ada saat ini dan data teknis dan ekonomis produksi kapal patroli 60 m konstruksi memanjang dengan material baja tegangan tinggi.

BAB V ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS

Bab ini berisi analisis teknis dan ekonomis proses pembangunan kapal

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Patroli



Gambar 2.1 Kapal patroli 60 m (KRI Sampari) milik TNI AL
Sumber: (indomiliter, KRI Sampari 628 Generasi Pertama KCR 60 TNI AL, 2014)









Kapal patroli adalah kapal yang umumnya didesain untuk melakukan pengamanan atau penjagaan di daerah pantai. Ada berbagai macam desain kapal patroli. Desain ini disesuaikan dengan fungsi operasionalnya. Kapal patroli dioperasikan untuk membantu lembaga-lembaga pemerintahan seperti angkatan laut, polisi pantai, dinas perikanan, dll.

Di Indonesia, instansi yang mengoperasikan kapal patroli antara lain:

- Kementerian Kelautan dan Perikanan melalui program Sistem Kapal Inspeksi Perikanan Indonesia (SKIPI). (kkp, 2016)
- Direktorat Jendral Bea dan Cukai, Kementerian Keuangan dengan armada *fast patrol boat* 28 (kayu, aluminium), *very slender vessel* 15, kapal patroli cepat 60 m (seri BC 60001 dan BC 60002). (beacukai, 2015)
- Polisi Air dan Udara dengan armada kapal kelas A (panjang 48 m dan 57-60 m) kelas B (panjang 28 m) kelas C (panjang 15 m).

- TNI-AL dengan armada Kapal Cepat Rudal kelas Clurit (40 m), Kelas Mandau (50 m) dan Kelas Sampari (60 m); kapal patroli cepat 57 m Kelas Kakap, Kelas Andau, Kelas Pandrong dan Kelas Todak; kapal patroli cepat 30-40 m. (indomiliter, 2015)

Tabel 2.1 Contoh tipe-tipe kapal patroli dari salah satu *shipbuilder*

	Tipe	Spesifikasi	
	OPV 2020 <i>Offshore patrol vessel</i>	Loa : 98,2 m Bm : 14 m	V : 20-25 knot ▽ : 1980 ton
	OPV 90 <i>Offshore patrol vessel</i>	Loa : 92,5 m Bm : 13 m	V : 24-27 knot ▽ : 1900 ton
	OPV 80 <i>Offshore patrol vessel</i>	Loa : 80,6 m Bm : 13 m	V : 20-24 knot ▽ : 1850 ton
	IPV 60 <i>Inshore patrol vessel</i>	Loa : 60 m Bm : 10,2 m	V : 20-26 knot ▽ : 600 ton
	CPV 40 <i>Coastal patrol vessel</i>	Loa : 40 m Bm : 7,4 m	V : 20-30 knot ▽ : 245 ton
	FPB 34 <i>Fast patrol boat</i>	Loa : 34,2 m Bm : 7 m	V : 24-30 knot ▽ : 125 ton
	FPB 27 <i>Fast patrol boat</i>	Loa : 27,2 m Bm : 6,2 m	V : 24-30 knot ▽ : 70 ton
	FPB 21 <i>Fast patrol boat</i>	Loa : 21 m Bm : 5,8 m	V : 24-32 knot ▽ : 45 ton

Sumber: (fassmer, 2015)

Kapal patroli kelas 60 m atau yang biasa disebut dengan *inshore patrol vessel* adalah jenis kapal patroli yang melakukan pengamanan dan pengawasan di zona perairan eksklusif suatu negara. Kapal ini biasanya ditugaskan sebagai kapal bantu lembaga sipil di daerah pesisir dalam jangkauan 200 nm dari garis pantai. Selain kapal patroli 60 m, ada beberapa tipe kapal patroli yang dilaunching oleh perusahaan pembangun kapal Fassmer yang dapat dilihat dari Tabel 2-1. Dalam LR, kapal patroli termasuk dalam kelompok *Spesial Service Craft* karena memenuhi kriteria *Spesial Service Craft* antara lain:

- Kapal berkecepatan tinggi
- Kapal dengan *light displacement*
- Kapal dengan rasio sarat terhadap tinggi $\leq 0,55$

Berdasarkan area servisnya, kapal patroli dikelompokkan dalam *Service group 6*, (meliputi *yacht* dan kapal patroli). (LR, 2014)

2.2 Material Lambung Kapal Patroli

Material yang digunakan dalam pembangunan kapal secara umum dapat digolongkan menjadi material konstruksi lambung, *outfitting* dan *painting*. Kompleksnya syarat fungsional kapal mengakibatkan digunakannya berbagai jenis material. Material untuk bangunan kapal tidak hanya mampu menjamin integritas kekuatan dan kedap, tetapi juga harus mampu menunjang fungsi kapal selama beroperasi. Selain itu, struktur material juga harus mampu menunjang permesinan dan peralatan. (Storch, 1995)

Kapal sebagian besar terbuat dari baja. Untuk material lambung umumnya menggunakan baja dengan berbagai *grade* dan untuk bangunan atas umumnya menggunakan material aluminium. Aluminium biasa digunakan untuk bangunan atas kapal-kapal yang mementingkan stabilitas dan beban konstruksi yang ringan. (Storch, 1995)

Kapal baja dibangun dengan menggunakan beberapa tipe baja seperti baja karbon, baja tegangan rendah, baja tegangan biasa atau baja tegangan tinggi. Baja dengan campuran karbon atau logam lain seperti krom dan nikel juga sering kali digunakan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari pada baja biasa. Karakteristik yang menjadi perhatian utama dalam memilih baja kapal antara lain kuat tarik, ketahanan terhadap korosi dan *notch toughness*. Karakteristik tersebut bisa didapatkan dengan membuat berbagai variasi komposisi dan variasi proses fabrikasinya. (Storch, 1995)

Pertimbangan utama dalam memilih material baja untuk membangun kapal antara lain: karakteristik material, kemudahan untuk digunakan dalam konstruksi, ketersediaan dan harga. Baja biasa (*mild steel*) adalah baja yang paling umum digunakan untuk kapal-kapal

niaga karena harganya yang relatif murah, mudah didapat dan mudah dilas. Baja tegangan tinggi biasa digunakan dalam pembangunan konstruksi kapal-kapal perang karena adanya batasan-batasan desain, terutama karena adanya kebutuhan untuk mengontrol berat konstruksi tanpa mengurangi kekuatan konstruksi kapal tersebut. (Storch, 1995)

Pertimbangan mendasar dalam memilih material adalah nilai *weldability*. Pemilihan elektrode las sangatlah penting dalam setiap proses pengelasan. Tujuan utama dalam proses pemilihan ini adalah untuk mendapatkan logam las yang memiliki kekuatan sama dengan logam induknya. Karena cacat-cacat las dapat terjadi pada hasil pengelasan, desain pengelasan dan pemilihan elektrode dilakukan sedemikian rupa sehingga logam las memiliki karakteristik yang lebih baik dari pada logam induknya. Selain pemilihan elektrode yang sesuai, *preheating* pada logam induk terutama untuk baja tegangan tinggi perlu dilakukan. (Storch, 1995)

Material yang digunakan dalam pembangunan kapal yang akan diklasifikasikan dalam kelas tertentu (misal LR), haruslah dibuat, diuji dan diperiksa berdasarkan peraturan kelas tersebut (untuk LR, harus sesuai dengan *Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials*). (LR, 2014)

Berdasarkan *Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials*, material kapal dapat digolongkan menjadi:

- Baja roll
- Baja tuang
- Baja tempa
- Material khusus untuk pipa-pipa dan tabung
- *Aluminium alloy*
- *Copper alloy*
- Material untuk *mooring* dan *anchoring*

2.2.1 Alumunium

Peningkatan penggunaan alumunium pada pembangunan kapal merupakan hasil dari rasio antara kekuatan dan berat material jika dibandingkan dengan baja. Meski penggunaannya pada konstruksi lambung masih terbatas, penggunaan pada bangunan atas cukup umum baik untuk kapal perang maupun kapal niaga. Kapal alumunium umumnya berukuran kecil. Alumunium yang digunakan dalam pembangunan kapal adalah hasil campuran. Umumnya campuran alumunium berupa mangan, silikon dan atau seng.

Campuran ini memberikan kekuatan yang baik, ketahanan terhadap korosi, dan *weldability*. (Storch, 1995)

Seperti halnya baja, pengelasan adalah sarana utama dalam menggabungkan material. Pengelasan aluminium cukup umum di galangan kapal. Namun sebagaimana halnya pada baja tegangan tinggi, beberapa faktor harus dipertimbangkan dan dikontrol. Permasalahan utama dalam mengelas aluminium adalah *porosity*, *shrinkage*, dan distorsi karena tingginya konduktifitas panas, dan pengurangan kekuatan pada HAZ (*heat affected zone*). (Storch, 1995)

Untuk kapal patroli yang akan dikelaskan dalam klasifikasi LR, material pelat aluminium yang digunakan harus sesuai dengan *LR- Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials, Chapter 8, Section 1*. (LR, 2014)

2.2.2 Baja Roll

Baja roll yang digunakan dalam pembangunan kapal harus dibuat dan diuji berdasarkan persyaratan kelas. Semua material harus dibuat di pabrik yang disetujui oleh kelas untuk tipe dan *grade* baja yang akan *disupply* untuk proses selanjutnya. Material dapat *disupply* dalam keadaan *as-rolled*, *Normalised*, *normalising rolled* atau *thermomechanically controlled rolled*. Definisi untuk istilah-istilah tersebut adalah sebagai berikut:

- *As-rolled* (AR) merujuk pada pengerolan baja pada temperatur tinggi dan diikuti dengan pendinginan udara. Suhu *rolling* dan *finishing* umumnya berada pada suhu *austenite recrystallisation region* atau di atas suhu *normalising*. Kekuatan dan keuletan baja yang dihasilkan dengan proses ini, umumnya kurang dari baja yang telah di *heat treatment* setelah pengerolan, atau baja yang diproduksi dengan proses *advance*.
- *Normalising* (N) merujuk pada siklus perlakuan panas tambahan pada baja rol di atas suhu kritis, A_{c3} , dan pada batas bawah area rekristalisasi austenit dan diikuti dengan pendinginan udara. Proses ini meningkatkan *mechanical properties* baja rol dengan memperbaiki ukuran butir.
- *Normalising rolling* (NR), juga dikenal dengan *controlled rolling*, adalah prosedur pengerolan dimana deformasi akhir dilakukan pada rentang suhu *normalising*, yang mengakibatkan kondisi material secara umum sama dengan kondisi yang didapat dengan proses *normalising*.
- *Thermomechanically controlled rolling* (TM) adalah prosedur yang melibatkan kontrol ketat terhadap suhu baja dan *rolling reduction*. Pada umumnya proporsi

tinggi pada *rolling reduction* dilakukan mendekati suhu A_{r3} dan dapat melibatkan pengerolan dalam area suhu *dual phase*. Tidak seperti *normalising rolling*, *properties* yang didapat dari TM (TMCP) tidak dapat didaur ulang dengan *normalising* atau *heat treatment* lain.

- *Accelerate cooling* (AcC) adalah proses yang bertujuan untuk meningkatkan *mechanical properties* dengan cara mengontrol pendinginan dengan laju yang lebih tinggi dari pada pendinginan udara, dimulai sejak penyelesaian proses TM akhir. *Quenching* langsung tidak termasuk dalam *accelerate cooling*. Material properties yang didapat dari TM dan AcC tidak dapat didaur ulang dengan *subsequent normalising* atau perlakuan panas lain.
- *Quenching* dan *temperring* (QT) adalah proses perlakuan panas dimana baja dipanaskan pada suhu tertentu diatas suhu A_{c3} dan kemudian didinginkan dengan pendingin tertentu dengan tujuan menguatkan struktur mikro, kemudian diikuti dengan *tempering*, dimana baja dipanaskan ulang, tidak lebih tinggi dari A_{c1} untuk mengembalikan keuletan dengan meningkatkan struktur mikro.

(LR, 2014)

Manufacturer harus menjalankan proses perlakuan panas yang disaratkan untuk mencegah *hydrogen cracking* atau untuk membuat material dalam kondisi aman untuk proses pengiriman. Setelah semua proses *treatment* selesai dilakukan, material harus diuji untuk mengetahui karakteristiknya. (LR, 2014)

Untuk baja roll yang digunakan dalam pembangunan lambung kapal, dibedakan menjadi:

- Baja berkekuatan biasa (*normal strength steel*)
- Baja berkekuatan tinggi (*higher strength steel*)
- Baja *feritic* untuk operasi pada temperatur rendah
- Pelat dengan *toughness properties*
- Baja berkekuatan tinggi yang telah di *quenching* dan di *temperring* untuk membangun struktur yang dilas

(LR, 2014)

2.2.2.1 Baja biasa (Normal Strength Steel)

Dalam *LR- Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft, Part 6 – Chapter 2 – Section 2* tentang material, dikatakan bahwa baja biasa (*mild steel*) adalah baja dengan *mechanical properties* sebagai berikut:

- *Yield strength* 235 N/mm²
- *Tensile strength* 400-490 N/mm²
- *Modulus elastisitas* 200x10³ N/mm²

Baja dengan spesifikasi *yield strength* minimum 235 N/mm² disebut dengan *mild steel*. Material ini dikelompokkan dalam *grade* A, B, D dan E. Masing-masing *grade* mempunyai *mechanical properties* tertentu seperti yang tercantum pada Tabel 2.2. Selain *mechanical properties*, *grade* material juga menentukan kondisi material ketika *disupply*. Kriteria kondisi *supply* dapat dilihat pada Tabel 2.3. Komposisi kimia untuk masing-masing *grade* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.2 *Mechanical properties* untuk baja biasa

Grade	Yield stress minimum (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation 5, 65√(So) % minimum	Charpy V-notch impact test		
				Ketebalan	Anergi (J) rata-rata minimum	
					Longitudinal	Transversal
A	235	400-520	22	≤ 50	27	20
B				>50 ≤70	34	24
D				>70 ≤100	41	27
E						
Impact test dilakukan dalam beberapa temperatur				Grade A	: tidak disyaratkan	
				Grade B	: 0 ⁰ C	
				Grade D	: -20 ⁰ C	
				Grade E	: -40 ⁰ C	

Sumber: (LR, 2014)

Tabel 2.3 Kondisi *supply* untuk baja biasa

Grade	Ketebalan (mm)	Kondisi
A dan B	≤50 <50≤100	Semua N NR TM
D	≤35 <35≤100	Semua N NR TM
E	≤100	N TM
N = Normalised NR = Normalised rolled TM = Thermomechanically controlled-rolled		
Cacatan:		
1. 'semua' termasuk <i>as-rolled</i> , <i>normalised</i> , <i>normalising rolled</i> dan <i>thermomechanically controlled-rolled</i> .		
2. Pelat, flat, seksi dan balok dapat <i>disupply</i> dalam kondisi <i>as-rolled</i> .		

3. Seksi dalam *grade* D dapat *disupply* dalam ketebalan lebih dari 35 mm dalam kondisi *as-rolled* jika ada bukti bahwa material memiliki hasil memuaskan dalam *charpy V-notch impact test*.
4. Seksi dalam baja *Grade* E dapat *disupply* dalam keadaan *as-rolled* dan *normalising rolled* jika ada bukti bahwa material memiliki hasil memuaskan dalam *charpy V-notch impact test*.

Sumber: (LR, 2014)

Tabel 2.4 Komposisi kimia dan perlakuan deoksidasi untuk baja biasa

Grade	A	B	D	E
Deoksidasi	Untuk $t \leq 50$ mm: semua metode (untuk <i>rimmed steel</i> lihat catatan 1)	Untuk $t \leq 50$ mm: semua metode kecuali <i>rimmed steel</i>		
Komposisi kimia (%) (lihat catatan 5)				
Karbon	0,21 maks. (lihat catatan 2)	0,21 maks.	0,18 maks.	0,21 maks.
Mangan	$2.5 \times C\%$ min.	0,80 min. (lihat catatan 3)	0,7 min	0,60 min.
Silikon	0,5 maks.	0,35	0,1-0,35	0,1-0,35
Belarang	0,035 maks.	0,035 maks.	0,035 maks.	0,035 maks.
Fosfor	0,035 maks.	0,035 maks.	0,035 maks.	0,035 maks.
Alumunium (larutan asam)	-	-	0,015 min (lihat catatan 4)	0,015 min (lihat catatan 4)
Karbon dengan kandungan mangan +1/6 tidak boleh melebihi 040 %				
Catatan:				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk <i>grade</i> A, baja <i>rimmed</i> dapat diterima untuk seksi dengan ketebalan maksimum 12,5 mm, dengan menyatakan dalam sertifikat pengujian bahwa baja tersebut adalah baja <i>rimmed</i> 2. Kandungan karbon maksimum untuk baja <i>grade</i> A dapat ditingkatkan hingga 0,23% untuk seksi 3. Jika <i>grade</i> B dilakukan pengujian impak, kandungan mangan minimum dapat dikurangi hingga 0,6%. 4. Kandungan alumunium total dapat ditentukan sebagai ganti kandungan larutan asam. Jika hal ini terjadi, maka kandungan alumunium tidak boleh kurang dari 0,0020% 5. Jika dilakukan penambahan elemen sebagai bagian dari proses pembuatan material, kandungannya harus dicatat. 				

Sumber: (LR, 2014)

2.2.2.2 Baja tegangan tinggi

Baja tegangan tinggi (*higher tensile steel*) adalah baja yang memiliki *yield stress* tidak kurang dari 260 N/mm². (LR, 2014)

Penggunaan baja tegangan tinggi pada konstruksi kapal didasarkan faktor efisiensi material (η_{HTS}) yang tercantum pada Tabel 2.5. Jika pada lokasi tertentu membutuhkan

penggunaan material baja tegangan tinggi untuk pelat, pembujur, penegar atau penumpu, maka harus ditentukan faktor k_s berdasarkan . Dengan ketentuan bahwa nilai k_s tidak boleh kurang dari 0.66. (LR, 2014)

$$k_s = \frac{235}{\sigma_s} \quad (2.1)$$

Tabel 2.5 Nilai faktor efisiensi material (η_{HTS})

Spesifikasi minimum <i>yield stress</i> (σ_s) [N/mm ²]	η_{HTS}
235	1,00
265	0,964
315	0,956
340	0,934
355	0,919
390	0,886
Catatan : nilai antara dapat dihitung dengan interpolasi	

Sumber: (LR, 2014)

Baja tegangan tinggi adalah golongan baja karbon yang telah dicampur sedemikian rupa sehingga *hardenability*nya meningkat. Peningkatan *hardenability* ini memungkinkan baja tersebut dapat menerima perlakuan panas untuk mendapatkan kekuatan yang lebih besar dari pada baja karbon biasa dalam rentang ukuran yang sama. (globalmetals, 2015).

Baja berkekuatan tinggi (*higher strength steel*) dikelompokkan dalam empat level kekuatan, yaitu level 27S, 32, 36 dan 40. Level kekuatan material kemudian dikelompokkan dalam *grade* AH, DH, EH, dan FH. Pembagian ini didasarkan pada persyaratan *notch toughness* tiap material (lihat Tabel 2.6). *Mechanical properties* untuk baja tegangan tinggi dapat dilihat pada Tabel 2.6. Khusus untuk struktur ambang palkah dan geladak kapal kontainer, dibuat kelompok material dengan tingkat kekuatan H47.

Tabel 2.6 *Mechanical properties* untuk baja berkekuatan tinggi

Grade	Yield stress (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation pada 5,65√(So) (%) min.	Charpy V-notch impact test	
				Rata-rata energi minimum (J)	
				T ≤ 50 mm	
				Longitudinal	transversal
AH 27S DH 27S EH 27S FH 27S	265	400-530	22	27	20
AH 32 DH 32 EH 32 FH 32	315	440-570	22	31	22
AH 36 DH 36 EH 36	355	490-630	21	34	24

FH 36					
AH 40 DH 40 EH 40 FH 40	390	510-650	20	39	26
EH 47	460	570-720	17	-	-
Impact test dibuat pada masing-masing <i>grade</i> pada temperatur berikut: <i>Grade</i> AH = 0°C <i>Grade</i> DH = -20°C <i>Grade</i> EH = -40°C <i>Grade</i> FH = -60°C					

Sumber: (LR, 2014)

Tabel 2.7 Kondisi *Supply* untuk baja berkekuatan tinggi untuk pelat

<i>Grade</i>	<i>Grain refining practice</i>	Rentang ketebalan (mm)	Kondisi supply
AH 27S	Al atau Al+Ti	≤20	AR N NR TM
AH 32 AH 36	Nb atau V atau Al+(Nb atau V) atau Al+Ti+(Nb atau V)	≤12,5	AR N NR TM
AH 40	Semua	≤12,5	AR N NR TM
DH 27S	Al atau Al+Ti	≤20	AR N NR TM
DH 32 DH 36	Nb atau V atau Al+(Nb atau V) atau Al+(Ti)+(Nb atau V)	≤12,5	AR N NR TM
DH 40	Semua	≤50	- N NR TM
EH 27S EH 32 EH 36	Semua	≤100	- N - TM
EH 40	Semua	≤100	- N - TM QT
FH 27S FH 32 FH 36 FH 40	Semua	≤100	- N - TM QT
EH 47	Semua	≤50	Tidak <i>aplicable</i>
N = furnace <i>normalised</i> TM = <i>thermomechanically controlled- rolled</i> NR = <i>normalising rolled</i> QT = <i>quenched and tempered</i>			

Sumber: (LR, 2014)

Tabel 2.8 Komposisi kimia untuk *higher strength steel*

<i>Grade</i>	AH, DH, EH	FH
Maks. karbon (%)	0,18	0,16
Mangan (%)	0,9-1,6	0,9-1,6
Maks. Silikon (%)	0,5	0,5
Maks. Fosfor (%)	0,035	0,025
Maks. Belerang (%)	0,035	0,025
Grain refining element		
Alumunium (larutan asam) (%)	Min. 0,05	
Niobium (%)	0,02-0,05	
Vanadium (%)	0,05-0,1	
Titanium (%)	Maks. 0,02	
Total (Nb+V+Ti) (%)	Maks. 0,12	
Residual element		
Maks. Nikel (%)	0,4	0,8

Maks. Copper (%)	0,35	0,35
Maks. Cromium (%)	0,20	0,2
Maks. Molibdenum (%)	0.08	0,08
Maks. Nitrogen (%)		0,009

Sumber: (LR, 2014)

2.2.2.3 Baja berkekuatan tinggi yang telah *diquenching* dan *ditemperring* untuk membangun struktur yang dilas

Baja ini *disupply* dalam enam level kekuatan yang berbeda. Dengan *yield stress minimum* 420, 460, 500, 550, 620 dan 690 N/mm². Setiap level kekuatan dibagi lagi menjadi empat *grade* AH, DH, EH dan FH untuk membedakan persyaratan *notch toughness* yang disaratkan. (LR, 2014)

Dalam pembuatannya material ini harus *full killed* dan memiliki perlakuan butir yang baik. Komposisi kimia untuk material ini harus sesuai dengan Tabel 2.9. Kriteria penerimaan untuk material ini harus sesuai dengan Tabel 2.10

Tabel 2.9 Komposisi kimia untuk baja berkekuatan tinggi (*quenched* dan *tempered*)

<i>Grade</i>	AH	DH EH	FH
Maks. Karbon (%)	0,21	0,20	0,18
Maks. Mangan (%)	1,70	1,17	1,60
Maks. Silikon (%)	0,55	0,055	0,55
Maks. Fosfor (%)	0,035	0,030	0,025
Maks. Belerang (%)	0,035	0,030	0,025
Maks. Nitrogen (%)	0,020	0,020	0,020
<i>Grain refining element</i>			
Min. Alumunium (larutan asam (%))	0,015		
Nobium (%)	0,02-0,05		
Vanadium (%)	0,03-0,10		
Titanium (%)	0,02		
Maks. Total (Nb+V+Ti) (%)	0,12		

Sumber: (LR, 2014)

Tabel 2.10 *Mechanical properties* untuk material *higher strength steel* (*quenched* dan *tempered*)

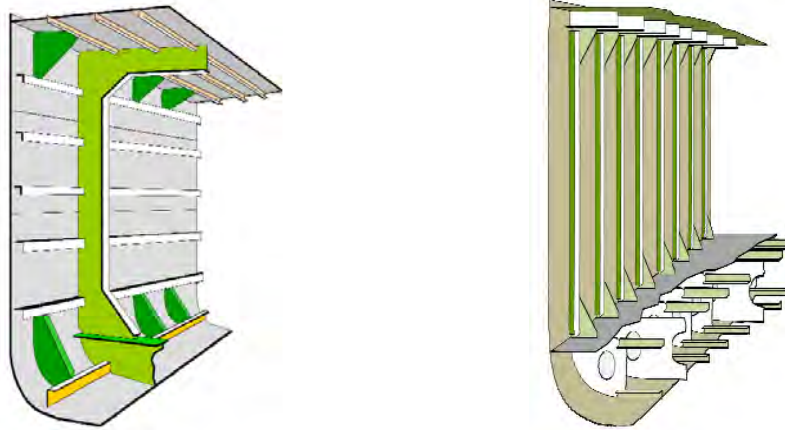
<i>Grade</i>	<i>Yield stress minimum</i> (N/mm ²)	<i>Tensile strength</i> (N/mm ²)	<i>Elongation</i>		<i>Charpy notch impact test</i>	
			Transver sal	Longitud inal	Min. energi rata-rata (J)	
					Transversal	longitudinal
AH 42 DH 42 EH 42 FH 42	420	530-680	18	20	28	42
AH 46 DH 46	460	570-720	17	19	31	46

EH 46 FH 46						
AH 50 DH 50 EH 50 FH 50	500	610-770	16	18	33	50
AH 55 DH 55 EH 55 FH 55	550	670-830	16	18	37	55
AH 62 DH 62 EH 62 FH 62	620	720-890	15	17	41	62
AH 69 DH 69 EH 69 FH 69	690	770-940	14	18	46	69
Suhu pengujian dampak untuk material: <i>Grade AH = 0°C</i> <i>Grade DH = -20°C</i> <i>Grade EH = -40°C</i> <i>Grade FH = -60°C</i>						

Sumber: (LR, 2014)

2.3 Konstruksi kapal

Konstruksi kapal adalah susunan tata letak struktur yang menunjang bentuk kapal. Struktur yang membentuk badan kapal adalah pelat dan profil. Fungsi pelat adalah untuk membentuk kulit kapal dan fungsi profil adalah untuk memberi penegaran pada pelat tersebut. Saat kapal dibangun, diperlukan sebuah sistem yang dapat mendukung terbentuknya badan kapal yang sesuai dengan desain. Sistem adalah sebuah kesatuan kompleks dari komponen-komponen pembangun yang dideskripsikan dengan fungsi struktur dan tujuannya. Komponen dalam pembangunan kapal adalah pelat dan profil. Fungsi pelat adalah untuk membentuk kulit kapal. Dan fungsi profil adalah untuk memberi penegaran pada pelat tersebut. Agar mendapatkan fungsi penegaran yang maksimal, maka profil-profil yang akan dipasangkan harus disusun sedemikian rupa agar kekuatannya maksimal dan beratnya minimal.



Gambar 2.2 Sistim konstruksi memanjang (kiri) dan sistim konstruksi melintang (kanan)

Untuk mendapatkan fungsi penegaran yang maksimal, pofil-profil dipasangkan membentuk sebah sistem konstruksi kapal. Sistim konstruksi kapal pada umumnya dibagi menjadi tiga, yaitu sistim konstruksi memanjang, melintang dan campuran. Pembagian sistim konstruksi ini ditentukan dengan meninjau jumlah penegar terbanyak yang dipasangkan pada lambung kapal. Pada sistim konstruksi memanjang, penegar yang paling banyak dipasangkan adalah pembujur yang terdapat pada pelat alas, pelat sisi dan pelat geladak. Pembujur tersebut selanjutnya ditumpu konstruksi utama yang lebih kuat berupa pelintang. Penjelasan lebih lengkap tentang penegaran konstruksi kapal dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Sistim konstruksi kapal

Lokasi	Sistim konstruksi		
	Melintang	Campuran	Memanjang
Geladak			
Penegar yang mendukung kekuatan melintang	<ul style="list-style-type: none"> Balok geladak* Balok besar Kantilever 	<ul style="list-style-type: none"> Pelintang geladak Kantilever 	<ul style="list-style-type: none"> Pelintang geladak Kantilever
Penegar yang mendukung kekuatan memanjang	<ul style="list-style-type: none"> Penumpu geladak (tengah/samping) 	<ul style="list-style-type: none"> Pembujur geladak* Penumpu geladak 	<ul style="list-style-type: none"> Pembujur geladak* Penumpu geladak
Lambung/sisi	<ul style="list-style-type: none"> Gading* Gading besar 	<ul style="list-style-type: none"> Gading* Gading besar 	<ul style="list-style-type: none"> Pelintang sisi

Penegar yang mendukung kekuatan melintang	– Senta sisi	– Senta sisi	– Pembujur sisi* – Senta sisi
Penegar yang mendukung kekuatan memanjang			
Dasar			
Penegar yang mendukung kekuatan melintang	– Wrang*	– Pelintang alas	– Pelintang alas
Penegar yang mendukung kekuatan memanjang	– Penumpu tengah – Penumpu samping	– Pembujur alas* – Penumpu tengah – Penumpu samping	– Pembujur alas* – Penumpu tengah – Penumpu samping

Catatan : * = profil tersebut dipasang hampir tiap jarak gading atau pembujur

Penegar sekunder : penegar, gading, balok geladak, pembujur

Penegar primer : penumpu, gading besar, balok besar, dan pelintang

Balok-balok konstruksi yang dipasangkan pada sebuah sistem konstruksi harus memiliki kekuatan tertentu agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Kekuatan konstruksi dipengaruhi oleh ukuran konstruksi dan jenis material yang digunakan material yang kuat akan membutuhkan dimensi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan material yang lebih lemah. Kekuatan material dapat diketahui dengan menganalisa *mechanical properties*nya. *Mechanical properties* suatu material dapat dicari dengan melakukan pengujian material. Jika kekuatan material telah diketahui, maka ukuran material yang harus dipasangkan bisa diketahui dengan melakukan perhitungan berdasarkan rules dan regulasi yang ada.

Material yang digunakan dalam konstruksi kapal harus sesuai dengan peraturan yang ada (misal *LR-Rules for Materials*) dan ukurannya harus sesuai dengan peraturan untuk struktur (misal *LR-Rules for Special service Craft, part 6* untuk konstruksi baja, atau *part 7*

untuk material aluminium). Secara umum, kapal dengan lambung tunggal dengan bentuk normal dan kecepatan yang proporsional menerapkan *requirement material* tertentu untuk membuat anggota penegarannya agar tidak terjadi *fracture*. *Requirement material* berdasarkan kategori penegarannya tertera Tabel 2.12. Kelas material sesuai dengan yang tertera pada Tabel 2.13.

Tabel 2.12 persyaratan kelas dan grade material untuk kategori penegar

Kategori penegar	Kelas/grade material
SEKUNDER	
A1. Lajur sekat memanjang, selain yang termasuk dalam kategori Primer A2. Pelat geadak yang terpampang cuaca A3. Pelat sisi	Kelas I di dalam area 0,4L amidship Grade A/AH di luar area 0,4L amidship
PRIMER	
B1. Pelat alas, termasuk pelat lunas B2. Plat geladak, kecuali yang termasuk dalam kategori khusus B3. Anggota penegaran memanjang diatas geladak kekuatan, ermasuk ambang palkah B4. Lajur teratas pada sekat memanjang B5. Lajur vertikal (penumpu samping palkah) dan <i>slope stake</i> teratas pada <i>wing tank</i>	Kelas II di dalam area 0,4L amidship Grade A/AH di luar area 0,4L amidship
SPEKIAL	
C1. Pelat lajur sisi atas (atau <i>gunwale</i>) dan pelat penumpu pada geladak kekuatan C2. Pelat lajur geladak pada sekat memanjang kecuali pelat geladak pada kulit dalam sekat atau <i>double hull</i>	Kelas III di dalam area 0,4L amidship Kelas II di luar area 0,4L amidship Kelas I di luar area 0,6L amidship
C3. Pelat geladak kekuatan pada bagian luar sudut bukaan palkah (dan perpotongan pelat antara penumpu memanjang dibawah geladak dan <i>cross-deck strip</i>) pada <i>container carrier</i> dan kapal lain dengan pengaturan palkah yang serupa	Kelas III di dalam area 0,4L amidship Kelas II di luar area 0,4L amidship Kelas I di luar area 0,6L amidship Minimal kelas II di dalam <i>cargo region</i>
C4. Pelat geladak kekuatan pada sudut bukaan palkah pada <i>bulk carrier, ore carrier, combination carrier</i> , dan kapal-kapal lain yang mempunyai pengaturan bukaan palkah yang serupa	Kelas III di dalam area 0,6L amidship Kelas II pada <i>cargo region</i> lainnya
C5. Lajur bilga pada kapal dengan dasar ganda selebar kapal dengan panjang kurang dari 150 m	Kelas II di dalam area 0,6L amidship Kelas I pada area selain 0,6L amidship
C6. Lajur bilga pada kapal lain	Kelas II di luar 0,4L amidship Kelas I di luar 0,6L amidship

C7. Ambang palkah memanjang dengan panjang lebih besar dari 0,15 L	Kelas III di dalam 0,4L amidship Kelas II di luar 0,4L amidship
C8. End braket dan transisi deck house dari ambang palkah memanjang	Kelas I di luar 0,6L amidship Tidak kurang dari grade D/DH
KAPAL DENGAN PANJANG MELEBIHI 150 M DAN GELADAK KEKUATAN TUNGGAL	
D1. Anggota penegaran memanjang dari pelat geladak kekuatan	Grade B/AH dalam 0,4L amidship
D2. Anggota penegaran memanjang di atas geladak kekuatan	Grade B/AH dalam 0,4L amidship
D3. Lajur sisi tunggal untuk kapal tanpa sekat memanjang menerus antara alas dan geladak kekuatan	Grade B/AH dalam area ruang muat
KAPAL DENGAN PANJANG MELEBIHI 250 m	
E1. Lajur sisi (atau <i>gunwale</i>) dan pelat penumpu pada geladak kekuatan	Grade E/EHH dalam 0,4L amidship
E2. Lajur bilga	Grade D/DH dalam 0,4L amidship
BULK CARRIER YANG TERKENA REGULASI SOLAS XII/6.5	
F1. Lower bracket atau gading sisi biasa	Grade D/DH
F2. Pelat lajur sisi termasuk total atau parsial antara dua titik yang terletak pada 0,125l diatas atau di bawah perpotongan pelat sisi dan bilge hopper <i>sloping plate</i> atau pelat alas dalam	Grade D/DH

Sumber: (LR, 2009)

Tabel 2.13 Kelas/grade material

Ketebalan, t, (mm)	Kelas material					
	I		II		III	
	<i>Mild steel</i>	HTS	<i>Mild steel</i>	HTS	<i>Mild steel</i>	HTS
$t \leq 15$	A	AH	A	AH	A	AH
$15 < t \leq 20$	A	AH	A	AH	B	AH
$20 < t \leq 25$	A	AH	B	AH	D	DH
$25 < t \leq 30$	A	AH	D	DH	D	DH
$30 < t \leq 35$	B	AH	D	DH	E	EH
$35 < t \leq 40$	B	AH	D	DH	E	EH
$t > 40$	D	DH	E	EH	E	EH

Sumber: (LR, 2009)

2.4 Pekerjaan Pembangunan Kapal

Pekerjaan produksi yang dilakukan di galangan meliputi *material handling*, *straightening*, *cutting*, *forming* dan *welding*. Sebagian besar pembangunan struktur kapal baja melibatkan pemotongan, pembentukan dan pengelasan. Pekerjaan-pekerjaan inilah yang nantinya akan menjadi subjek pengawasan dan persetujuan oleh badan regulasi dan klasifikasi (BKI, LR, ABS). (Storch, 1995)

2.4.1 Straighttenning

Karena laju pendinginan yang tidak sama setelah proses pengerolan dan penekanan yang terjadi di pabrik baja dan selama *handling* dan transportasi, pelat dan seksi yang tiba di galangan dalam keadaan deformasi. Kondisi ini mengakibatkan sulitnya proses *marking* dan *cutting* dan menimbulkan tegangan tambahan saat meterial tersebut difabrikasi dan *diassembly*. (Storch, 1995)



Gambar 2.3 Proses pengerolan
Sumber: (MGsrl, 2007)

Deformasi dapat dihilangkan dengan proses panas dan dingin. Dalam proses dingin, prosesnya secara umum dilakukan dengan pengerolan. Tekanan antara *roller* menghasilkan bentuk-bentuk lengkung, jenis *roller* yang lain dapat secara bertahap meluruskan pelat. Semakin besar deformasi pelat dan semakin tinggi tingkat ketebalan pelat, maka semakin banyak jumlah pas yang dibutuhkan.

2.4.2 Cutting

Baja dan alumunium pada umumnya tiba di galangan dalam bentuk lembaran-lembaran dalam ukuran standar. Sebelum digunakan untuk membangun kapal, material umumnya dipotong sesuai ukuran yang dibutuhkan. Pemotongan baja di galangan dilakukan dengan proses termal atau mekanis. Pemotongan termal dapat dilakukan dengan *gas cutting*, *NC cutting*, *Laser beam cutting* dan lain-lain. Pemotongan mekanis dapat dilakukan dengan gergaji, *shear* dll. (Storch, 1995)

2.4.3 Forming

Pembangunan kapal melibatkan penggunaan pelat baja dan penegar dengan kelengkungan tertentu. Seperti halnya pada *cutting*, *forming* dapat dilakukan dengan cara mekanis maupun termal. *Forming* dengan cara mekanis bisa dilakukan menggunakan *roller*

atau mesin *bending*. Untuk proses termal biasa dilakukan dengan *line heating*. Untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan, terkadang tidak cukup hanya menggunakan satu metode *forming*. Penggunaan beberapa metode biasa dilakukan untuk mempercepat proses pembentukan pelat. Seringkali, langkah pertama *forming* adalah dengan membentuk menggunakan *roller* atau mesin *bending*, dan untuk meningkatkan akurasi dilakukan pembentukan menggunakan *line heating*. (Storch, 1995)



Gambar 2.4 Proses *forming* mekanis dengan mesin roll
Sumber: (Ourway, 2015)



Gambar 2.5 Pembentukan pelat dengan *line heating*
Sumber: (Machinistic, 2016)

2.4.4 Penggabungan Material

Tujuan dari proses penggabungan material adalah untuk membentuk gabungan material yang menyatu. Pada kasus dua buah material, ketika atom pada tepi suatu material berhadapan pada posisi yang cukup dekat dengan atom yang ada pada tepi material lain sehingga ada kemungkinan timbul daya tarik antar atom-atom tersebut, maka dua buah material tersebut akan menyatu. Meskipun kejadian ini terlihat sederhana, namun pada

prosesnya tidaklah sederhana. Kekasaran permukaan, *impurities*, ketidak sempurnaan pemasangan, dan karakteristik lain dari material dapat meningkatkan kesulitan proses penggabungan material. Proses dan prosedur pengelasan telah dikembangkan untuk mengatasi kesulitan-kesulitan ini dengan penggunaan panas dan atau tekanan. (Jenney, O'Brien, 2001)

Sebagian besar proses pengelasan melibatkan pemanasan material induk. Panas ini hanyalah berupa sarana untuk membuat atom pada permukaan material yang satu cukup dekat dengan atom pada permukaan material lainnya sehingga dapat terjadi daya tarik-menarik antar atom. Namun, panas ini dapat merusak struktur mikro dari material yang digabungkan. Sebagaimana material panas cenderung teroksidasi, perlindungan dari oksidasi harus mencukupi untuk mencegah reaksi dengan oksigen di udara. Sebagian baja lebih sensitif dari jenis baja lain, sehingga perlindungan terhadap oksidasi menjadi lebih diperlukan. Sehingga ketika mengamati tiap proses pengelasan, teknisi harus mempertimbangkan panas yang dihasilkan pada proses pengelasan. Selain itu, bagaimana cara mendapatkan perlindungan terhadap oksidasi harus diidentifikasi. (Jenney, O'Brien, 2001)

Pemilihan proses pengelasan melibatkan banyak pertimbangan. Pertimbangan-pertimbangan tersebut antara lain:

1. Ketersediaan dan kecocokan untuk penerapan.
2. Keahlian yang disyaratkan
3. *Weldability* material induk dengan menimbang tipe campuran dan ketebalannya
4. Ketersediaan *welding consumable*
5. Desain kampuh las
6. *Heat input* yang dibutuhkan
7. Permintaan untuk posisi pengelasan
8. Biaya proses pengelasan, termasuk *capital*, material dan tenaga kerja
9. Jumlah komponen yang akan difabrikasi
10. *Code* dan standar yang diterapkan
11. Faktor yang menyangkut keselamatan

(Jenney, O'Brien, 2001)

Gambaran tentang proses penggabungan material tertera pada Tabel 2.14 sebagai bahan pertimbangan awal dalam memilih proses penggabungan material untuk berbagai material *ferrous* dan *nonferrous*.

Tabel 2.14 Kapabilitas beberapa proses penggabungan material

Jenis material	Ketebalan	SMAW	SAW	GMAW	FCAW
Baja karbon	S	X	X	X	
	I	X	X	X	X
	M	X	X	X	X
	T	X	X	X	X
<i>Low-alloy steel</i>	S	X	X	X	
	I	X	X	X	X
	M	X	X	X	X
	T	X	X	X	X
<i>Sainless steel</i>	S	X	X	X	
	I	X	X	X	X
	M	X	X	X	X
	T	X	X	X	X
Besi tuang	I	X			
	M	X	X	X	X
	T	X	X	X	X
Nikel dan padanannya	S	X		X	
	I	X	X	X	
	M	X	X	X	
	T	X		X	
Alumunium dan padanannya	S	X		X	
	I	X		X	
	M	X		X	
	T	X		X	

* S = lembaran logam (3 mm), I = intermediate (3-6 mm), M = menengah (6-19 mm), T = tebal (lebih dari 19 mm)

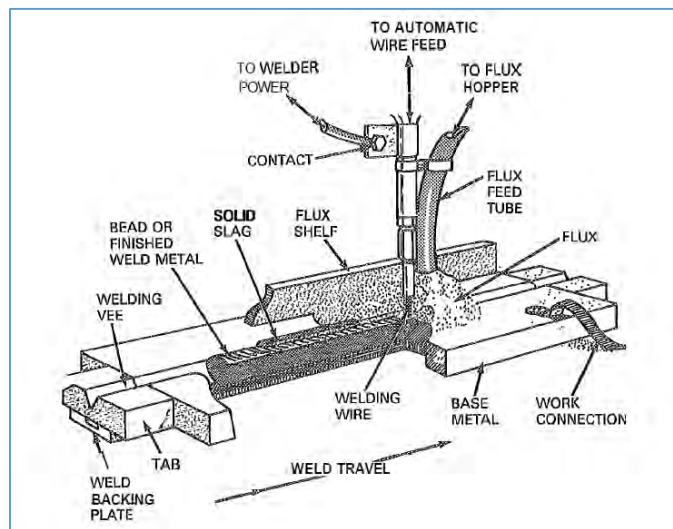
Sumber: (Jenney, O'Brien, 2001)

2.4.4.1 Proses Pengelasan yang Umum Digunakan

2.2.4.4.1.1 SAW

Pengelasan SAW (*submerge arc welding*) menghasilkan perpaduan *metal* dengan memanaskannya dengan busur antara *bare metal elektrode* dengan benda kerja. Busur dan

logam cair terendam (*submerge*) dalam lapisan tebal pasir *flux* pada permukaan benda kerja. Tekanan tidak digunakan dalam pengelasan ini, dan *filler metal* didapat dari elektrode dan terkadang dari sumber tambahan seperti kawat las atau butiran logam. (Larry, 2004)



Gambar 2.6 Proses pengelasan SAW
Sumber: (O'brien, 1991)

Pengelasan dibawah pasir *flux* bisa dilakukan dengan semiotomatis, mekanis atau otomatis yang mana pengumpanan elektrode dan panjang busur dikontrol oleh *wire feeder* dan *power supply*. Pada pengelasan otomatis, alur pengelasan bisa dibuat dengan menggerakkan alat pengelas atau dengan menggerakkan material, dan ada sistem yang mengatur penggunaan kembali *flux* yang tidak berfusi. (Larry, 2004)

Pada pengelasan SAW, busur tertutupi oleh *flux*. *Flux* ini berfungsi sebagai:

- Penstabil busur
- Pengontrol sifat mekanis dan kimia dari logam las
- Mempengaruhi kualitas las-lasan jika *flux* tidak ditangani dengan baik. (Larry, 2004)

Untuk mencegah kontaminasi logam las dari hidrogen, *flux* harus dijaga tetap kering dan bebas dari minyak atau hidrokarbon lain. Jika *flux* lembab, maka harus dikeringkan ulang. Jika tidak dikeringkan, kandungan hidrogen dapat menyebabkan porositas. Selain itu, pada *hardenable steel*, adanya hidrogen dapat menyebabkan *underbead crack*. Mengeringkan *flux* bisa dilakukan menggunakan alat pengering khusus atau dengan cara dijemur dibawah sinar matahari. Pengeringan tidak boleh dilakukan dengan cara dibakar langsung dengan api, karena dapat menyebabkan *flux* berfusi menjadi satu dan disaat yang sama, akan timbul api yang dapat menghasilkan air yang menimbulkan embun pada *flux*. (Larry, 2004)

Pengelasan menggunakan SAW membutuhkan gap yang lebar, oleh karena itu diperlukan backing material untuk menyangga daerah root. Penyangga bisa dibuat dari *strip copper*, *flux backing* dan *backing weld*. (Larry, 2004)

Kelebihan dari pengelasan ini antara lain:

- Laju deposisi dan kecepatannya tinggi

Menggunakan kawat las berdiameter besar, bisa menghasilkan deposisi 18 kg/jam. Jumlah tersebut dua kali lipat dari laju deposisi FCAW dan empat kali dari SMAW.

- Utilisasi elektrode yang tinggi

Dengan SAW, tidak ada spatter atau sisa elektrode yang mengakibatkan masalah pembersihan. Seluruh elektrode berubah menjadi logam las.

- Ukuran las-lasan

Alur kampuh datar atau *fillet* setebal 25 mm dapat dibuat dengan sekali pas menggunakan elektrode tunggal. Ukuran las yang lebih besar dapat didapat menggunakan elektrode majemuk.

- SAW mempunyai karakter penetrasi yang dalam
- Las-lasan yang dihasilkan berkualitas tinggi, halus dan seragam
- Mudah diadaptasi

Dengan proses ini, *flux* dan kawat las dapat dibeli terpisah. *Flux* dapat digunakan untuk mengganti campuran pada deposit *weld metal*. Dengan mengganti *flux*, sifat las-lasan dapat dirubah. Komposisi dari *flux* dapat dengan mudah diganti untuk memenuhi kriteria sifat metalurgi yang diinginkan. Dua atau lebih *flux* dapat dicampurkan, dan *flux* bisa dicampur dengan butiran-bituran logam.

- SAW dapat dilakukan untuk berbagai macam logam
- Operator membutuhkan pelindung yang minimum

Karena tidak adanya busur, operator tidak membutuhkan lensa filter dan perlindungan berat lain. Keuntungan lain dari pengelasan ini adalah tidak adanya asap yang timbul selama proses pengelasan.

- Pengelasan SAW bisa dilakukan pada arus hingga 2000 amper, pada arus AC maupun DC. Bisa dilakukan dengan kawat las tunggal atau jamak atau bisa juga menggunakan potongan *filler metal*. Sumber listrik AC atau DC dapat digunakan pada proses pengelasan yang sama pada waktu yang bersamaan. (Larry, 2004)

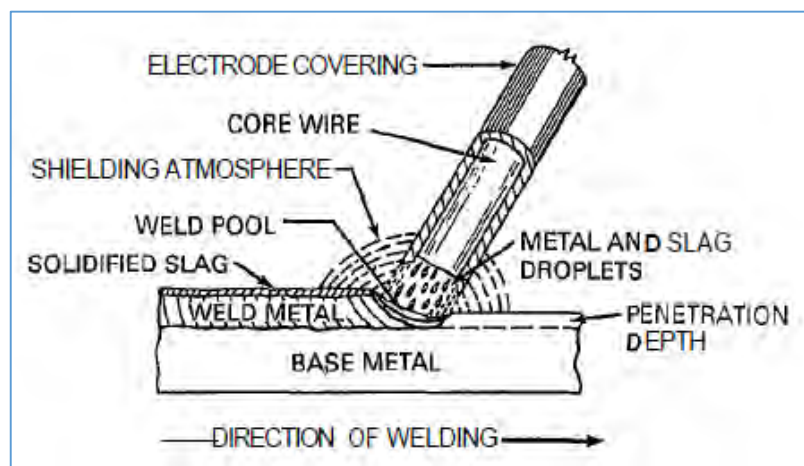
Kekurangan dari pengelasan ini antara lain:

- Terbatas pada posisi datar dan sambungan horizontal
- Parameter pengelasan harus dikontrol dengan hati-hati

Karena busur tertutup oleh *flux*, maka kondisi pengelasan harus diatur dengan pengalaman penuh atau dengan informasi dari tabel yang terpercaya.

- Pembersihan permukaan material dan pelurusan alur mesin dengan sambungan las sangatlah penting. Pelurusan yang tidak baik akan menghasilkan penampakan yang kurang sempurna pada mahkota las dengan penetrasi sambungan yang tidak sempurna
- *Flux* yang digunakan bersifat *low hydrogen* yang membutuhkan penyimpanan khusus dan pemanasan menggunakan oven
- Karena karakter busurnya yang *deep penetration*, dapat menghasilkan rasio lebar / dalam yang tinggi yang dapat menyebabkan *centerline cracking* (Larry, 2004)

2.2.4.4.1.2 SMAW



Gambar 2.7 Proses pengelasan SMAW

Sumber: (O'brien, 1991)

Pengelasan SMAW (*shielded metal arc welding*) adalah pengelasan yang memanfaatkan panas dari busur elektrik antara kawat elektrod dan benda kerja. Elektrode yang digunakan terbungkus dengan lapisan *flux*. Proses pengelasan SMAW bersifat manual dimana *welder* bertugas mengarahkan elektrode, mengatur tinggi leher las dan melakukan penggantian elektrode. Pengelasan SMAW adalah jenis pengelasan yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan pengelasan SMAW dinilai sebagai proses pengelasan yang mempunyai lebih banyak keunggulan dibandingkan dengan kekurangannya. Keunggulan dari pengelasan SMAW antara lain:

- Biayanya murah
 - Pengoperasiannya mudah
 - Biaya untuk *filler metal* murah
 - Peralatannya sama untuk semua jenis material
 - *Flexible* (berbagai posisi dan ketebalan)
 - *Portable* (bisa menggunakan genset)
 - *Versatile* (bisa untuk semua *metal* dan *alloy*)
- (Larry, 2004)

Kekurangan dari pengelasan SMAW antara lain:

- Prosesnya lama (harus sering mengganti elektrode)
 - Slag harus dibersihkan
 - Elektrode *low hydrogen* harus disimpan di tempat khusus
 - Rendahnya efisiensi deposisi
- (Larry, 2004)

Elektrode yang digunakan dilapisi dengan *flux* yang terdiri dari bahan-bahan penguat dan beberapa dari bahan-bahan tersebut dapat menarik atau menyimpan kelembaban. Oleh karena itu, elektrode ini harus disimpan di tempat yang kering dan khusus untuk elektrode low hydrogen harus dioven terlebih dahulu sebelum digunakan. (Larry, 2004)

Fungsi lapisan *flux* pada pembungkus elektrode antara lain:

- Penstabil busur
- *Shielding gas* untuk melindungi kolam las

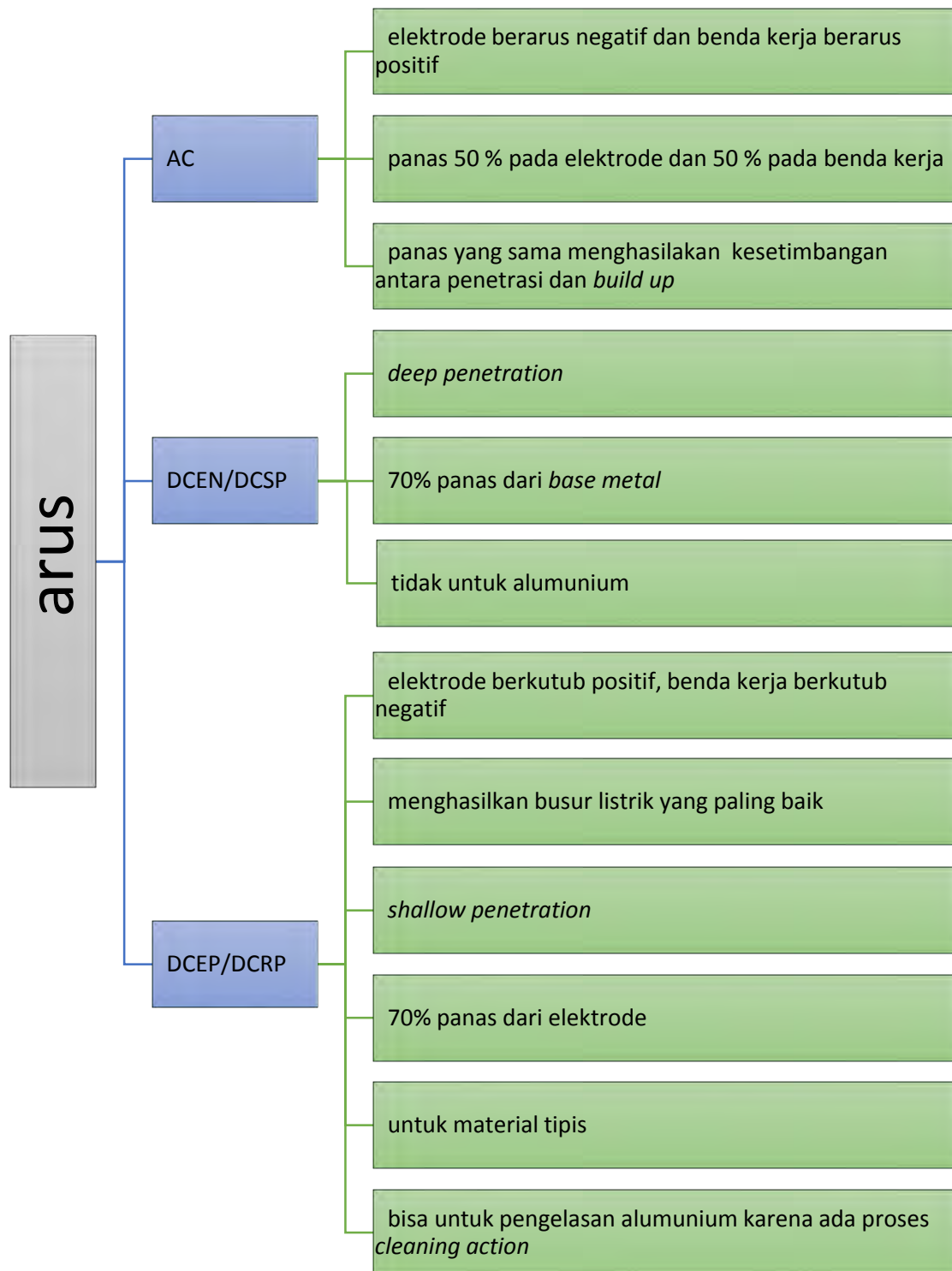
- Membentuk slag yang dapat menghilangkan *impurities* dari permukaan material dan kolam las
- Slag juga berfungsi untuk melindungi logam las dari atmosfer sehingga pendinginan logam las yang terjadi bisa berjalan lambat (*slow cooling rate* meningkatkan kualitas logam las
- *Deoxidator* (Al, Mn, Si, Mg) untuk melindungi logam las dari kemungkinan terjadi porositas
- *Alloying element* pada *flux* dapat memperkuat *weld metal*
- Meningkatkan deposisi dari *weld metal*, jika bubuk besi digunakan dalam campuran fluks. (Larry, 2004)

Elektrode yang digunakan dalam pengelasan SMAW dapat bekerja pada arus AC, dan DC. Baik Itu DCEP atau DCEN. Karakteristik arus pada pengelasan SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.8. Penggunaan arus yang berbeda memberikan pengaruh yang berbeda pada las-lasan. Perbedaan pengelasan menggunakan mesin las AC dan DC, dapat dilihat dari Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Karakteristik pengelasan menggunakan mesin las AC dan DC

Tipe arus	AC	DC
Kelebihan	Arus tidak terpengaruh panjang kabel	Arus stabil
	Tidak terjadi arc blow	Polaritas dapat diubah
	Murah	Bisa untuk ampere rendah
Kekurangan	Tidak bisa untuk ampere kecil	Harga dan biaya perawatan mahal
	Polaritas tidak dapat diubah	Ada efek <i>arc blow</i> (kuat amper menurun jika kabel terlalu panjang)
	Mengganggu tegangan jaringan saat dipakai	

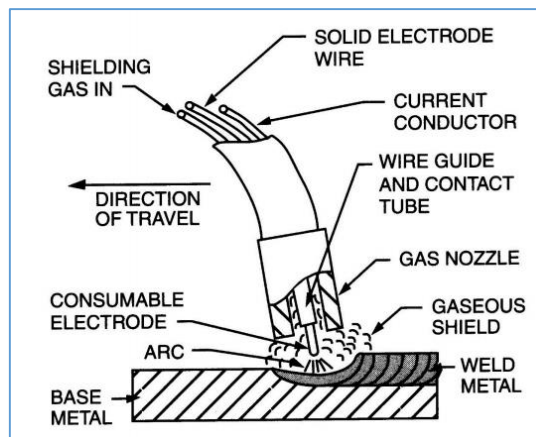
Sumber: (Larry, 2004)



Gambar 2.8 Karakteristik arus pada pengelasan SMAW
Sumber: (Larry, 2004)

2.2.4.4.1.3 GMAW

Pengelasan GMAW (*gas metal arc welding*) adalah pengelasan menggunakan panas dari busur elektrik antara kawat elektrode (*bare wire filler metal electrode*) dan benda kerja dengan perlindungan menggunakan gas pelindung. Proses pengelasannya dapat bersifat otomatis, semi otomatis, atau proses yang diotomatisasi. Pada pengelasan semi otomatis, *welder* mengontrol sudut dan jarak antara *welding gun* dan benda kerja, kecepatan pengelasan (*travel speed*) dan manipulasi busur. Panjang busur dan *electrode feed* dikontrol secara otomatis oleh sumber listrik dan *wire feeder controller*. (Larry, 2004)



Gambar 2.9 Proses pengelasan GMAW
Sumber: (O'brien, 1991)

Shielding gas yang digunakan berasal dari suplai inert gas eksternal (argon) dan *active gas* (CO₂) atau kombinasi keduanya. Fungsi utama dari *shielding gas* adalah untuk menghalangi kontak langsung antara atmosfer dan logam las cair. Hal ini diperlukan karena kebanyakan material, ketika dipanaskan hingga titik lelehnya di udara dapat mendorong terbentuknya oksida dan nitrid. Oksigen juga dapat bereaksi dengan karbon dalam baja cair dan menghasilkan karbon monoksida dan karbon dioksida. Reaksi-reaksi ini dapat mengakibatkan defisiensi las-lasan seperti *slag inclusion*, *porosity* dan *weld metal embrittlement*. Oleh karena itu perlu dilakukan pencegahan kontak nitrogen dan oksigen dari atmosfer ke logam las. (Larry, 2004)

Selain melindungi proses pengelasan dari udara bebas, *shielding gas* yang ada juga dapat mempengaruhi:

- Karakteristik busur
- Bentuk *metal transfer*
- Penetrasi dan bentuk kampuh las
- Kecepatan pengelasan

- Kecenderungan terjadinya *undercut*
- *Cleaning action* (sangat penting untuk pengelasan Alumunium yang menggunakan pengelasan DCRP dengan gas pelindung argon yang sangat cepat menghasilkan oksida permukaan yang tidak diinginkan jika berhubungan dengan udara)
- Sifat mekanis logam las
(Larry, 2004)

Keunggulan pengelasan ini adalah:

- Dapat digunakan secara afektif untuk menggabungkan material atau melapisi berbagai jenis logam ferrous atau nonferrous
- Adanya *shielding gas* dapat mengurangi kemungkinan masuknya hidrogen ke area pengelasan
- Laju deposisinya lebih tinggi dari pada SMAW
- Efisiensi dan pemanfaatan *filler metal* yang tinggi karena kumparan kawat yang menerus tidak membutuhkan penggantian sesering penggantian kawat SMAW
- Karena tidak adanya slag yang harus dibuang selama proses pengelasan membuat proses pengelasan ini cocok untuk pengelasan otomatis dan robotik dengan produktifitas tinggi
- Proses pengelasannya bersih karena tidak ada *flux* yang digunakan. Jika tidak ada slag, maka *welder* dapat mengamati kerja busur dan kolam las untuk meningkatkan kontrol
- Sangat *versatile*
(Larry, 2004)

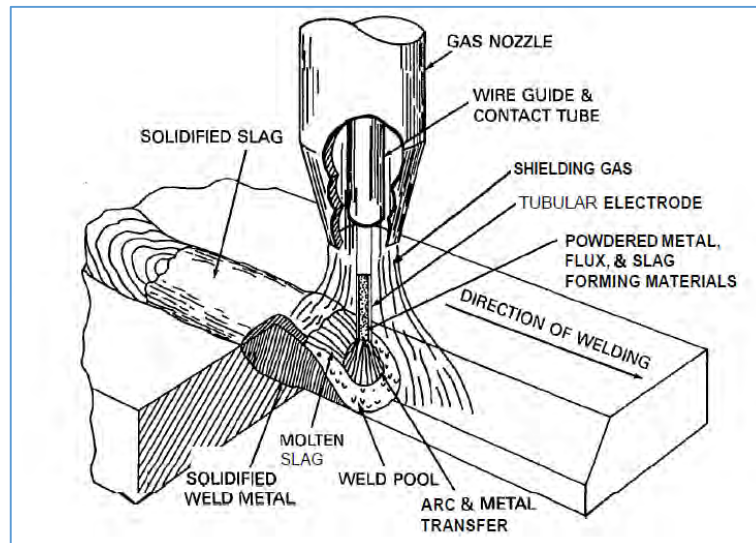
Kekurangan dari metode ini antara lain:

- Penggunaan hanya *shielding gas* sebagai pelindung dari atmosfer meningkatkan kontaminasi *base metal* dan bisa menimbulkan porositas
- Aliran udara dan angin dapat meniup *shielding gas* yang mengakibatkan pengelasan GMAW tidak cocok digunakan untuk di lapangan
- Peralatan yang digunakan lebih kompleks dari pada yang digunakan pada pengelasan SMAW, meningkatkan kemungkinan terjadinya permasalahan mekanis yang dapat menurunkan kualitas
- Harga peralatan mahal

- Penggunaan *short-circuiting transver* dapat menyebabkan *diskontinuitas* dan *lack of fusion*
- Tidak bisa menjangkau area yang sulit
- Jaraknya terbatas
- Tidak bisa mendorong elektrode berdiameter kecil melalui kabel yang panjang (Larry, 2004)

2.2.4.4.1.4 FCAW

Prinsip utama pengelasan FCAW adalah penggunaan panas antara *continous filler metal electrode* dan benda kerja seperti pada GMAW, perbedaannya pada pengelasan FCAW digunakan elektrode berbentuk tabung yang berisi butiran-butiran *flux*. Perlindungan didapat dari *flux* yang ada di dalam elektrode. Jika diperlukan perlindungan tambahan, bisa disertakan gas pelindung eksternal yang *disupply* melalui *welding gun*. Jika perlindungan eksternal digunakan, gas yang digunakan antara lain CO₂, argon atau campuran keduanya. Tetapi campuran 75% argon dan 25% CO₂ dapat digunakan untuk meningkatkan karakteristik operasi dari busur listrik dan menghasilkan logam las dengan sifat mekanis yang baik. (Larry, 2004)



Gambar 2.10 Proses pengelasan FCAW
Sumber: (O'brien, 1991)

Slag yang terbentuk pada permukaan logam las berguna untuk beberapa tujuan. Slag membantu melindungi logam las panas dari pengaruh atmosfer, mengontrol bentuk kampuh las dengan fungsi sebagai cetakan, dan menyediakan selimut untuk menghambat laju pendinginan yang berakibat pada peningkatan *physical properties*.

Keunggulan dari pengelasan ini antara lain:

- Tingginya laju deposisi
- Sedikit elektrode yang dibuang

Metode FCAW menggunakan *filler metal* secara efisien (75% hingga 90%)

- Karakternya agresif, penetrasi dalam, dan cenderung mengurangi kecenderungan diskontinuitas tipe fusi
- Membutuhkan persiapan permukaan yang lebih sederhana.

Karena karakternya yang *deep penetration*, maka tidak perlu dilakukan *beveling* pada beberapa sambungan las logam hingga ketebalan 13 mm. Jika pengelasan mengharuskan adanya bevel, maka sudutnya bisa dikurangi 35°. Pengurangan sudut ini bisa mengurangi ukuran las-lasan dan dapat menghemat hingga 50% *filler metal*, waktu pengerjaan dan energi listrik yang digunakan.

- Bisa digunakan pada semua posisi
- Fleksibel untuk berbagai jenis metal dengan selang ketebalan yang lebar

Pergantian pengaturan daya memungkinkan pengelasan dilakukan pada lembaran baja tipis atau pelat yang lebih tebal menggunakan elektrode berukuran sama. Pengelasan *multipass* memungkinkan menggabungkan material dengan ketebalan tidak terbatas. Hal ini juga berlaku pada ukuran elektrode yang sama.

- Deposit las berkualitas tinggi karena adanya *flux* yang membantu dalam proses pengelasan. Oleh karena itu, pengelasan ini bisa dilakukan untuk pengelasan *boiler*, *pressure vessel* dan *structural steel*.
- Kontrol yang baik menghasilkan bentuk las-lasan yang baik

Kolam las cair lebih mudah dikontrol dengan FCAW jika dibandingkan dengan GMAW. Tampilan permukaannya lebih halus dan seragam meski dengan kemampuan operator yang kurang baik. Sudut pandang meningkat dengan melepas *nozzle* ketika menggunakan *self shielded electrode*.

- Dapat digunakan di dalam ruangan dan di lapangan.

(Larry, 2004)

Batasan dari pengelasan FCAW antara lain:

- Batasan utama dari pengelasan FCAW adalah terbatasnya penggunaan pada baja ferrous dan *nickel based alloy*. Umumnya, pada baja karbon rendah dan menengah, beberapa *low alloy steel*, besi cor, dan beberapa *stainless steel* bisa dilas menggunakan FCAW
- Peralatan dan elektrode yang digunakan pada pengelasan FCAW harganya mahal. Tetapi biayanya bisa dengan cepat diatasi melalui produktifitas yang tinggi.
- Pembersihan *flux* setelah pengelasan membutuhkan tahap produksi tambahan. *Flux* harus dibersihkan sebelum pengelasan selesai untuk mencegah *crevice corrosion*
- *Flux* juga menghasilkan asap yang signifikan, yang mana mengurangi daya pandang *welder* dan membuat kampuh las sulit diamati.

(Larry, 2004)

2.4.4.2 Posisi Pengelasan

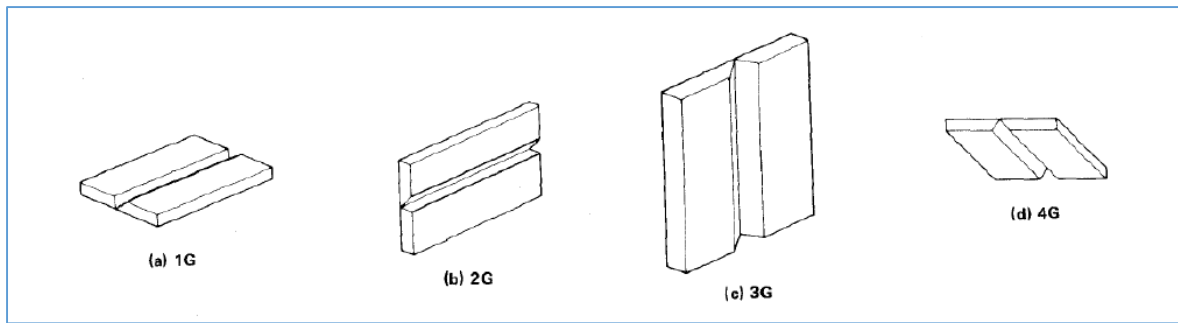
Pengelasan dilakukan dalam beberapa posisi. Posisi pengelasan dapat dibedakan menjadi empat, yaitu posisi bawah tangan (*down hand*) horizontal, vertikal dan atas kepala (*overhead*). Penentuan posisi pengelasan didasarkan pada posisi axis terhadap bidang horizontal. (ASME, 2010). Kriteria posisi posisi pengelasan *butt joint* dan *fillet joint* dapat dilihat pada

Tabel 2.16 dan Tabel 2.17. Gambaran mengenai kriteria posisi pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13. Sementara untuk gambaran posisi pengelasan untuk pengelasan kemampuan tukang las dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.14.

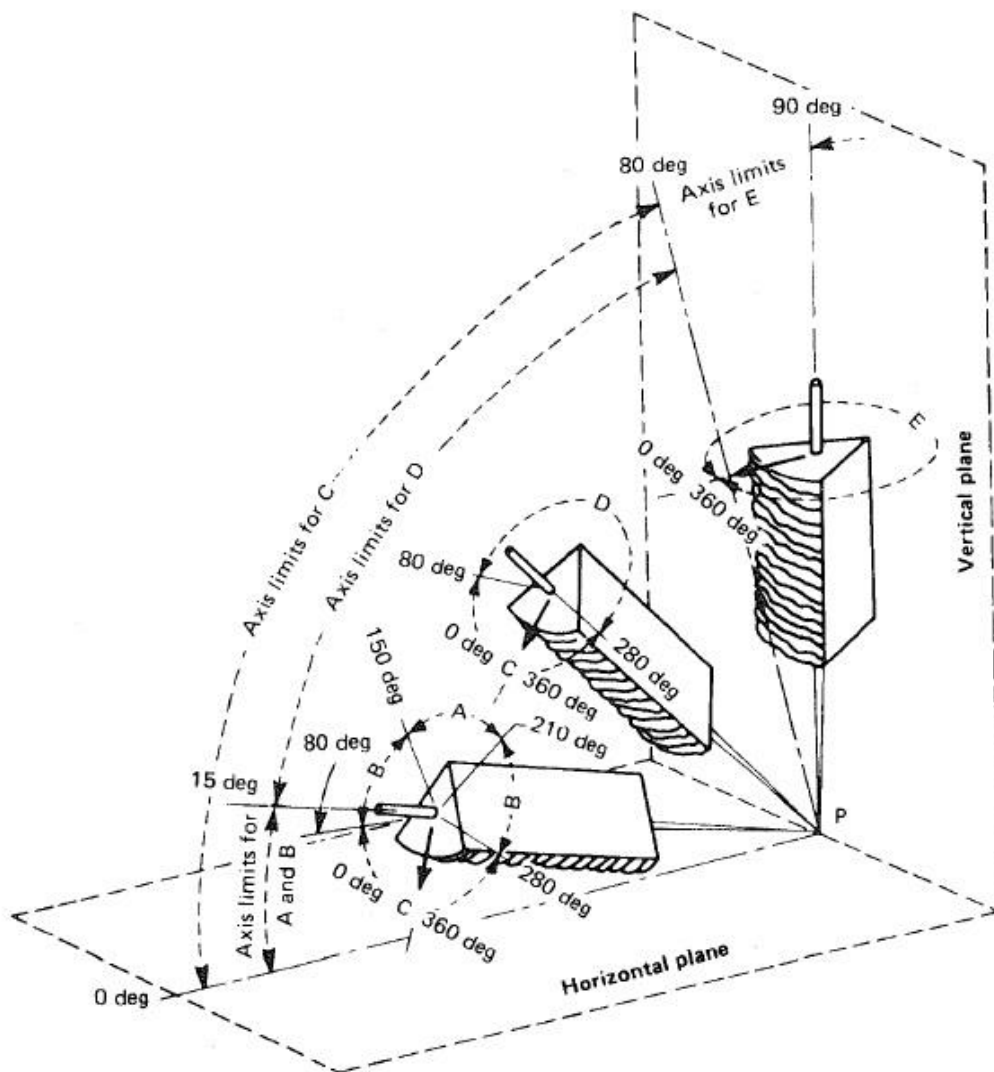
Tabel 2.16 Posisi pengelasan butt joint

Posisi	Referensi gambar	Kemiringan axis (°)	Rotasi face (°)
<i>Down hand</i>	A	0 – 15	150 – 210
Horizontal	B	0 – 15	80 – 150 210 – 280
Vertikal	C	0 – 80	0 – 80 280 – 360
<i>Overhead</i>	D E	15 – 80 80 – 90	80 – 280 0 – 360

Sumber : (ASME, 2010)



Gambar 2.11 Posisi untuk pengetesan pengelasan *butt joint*
 Sumber: (ASME, 2010)

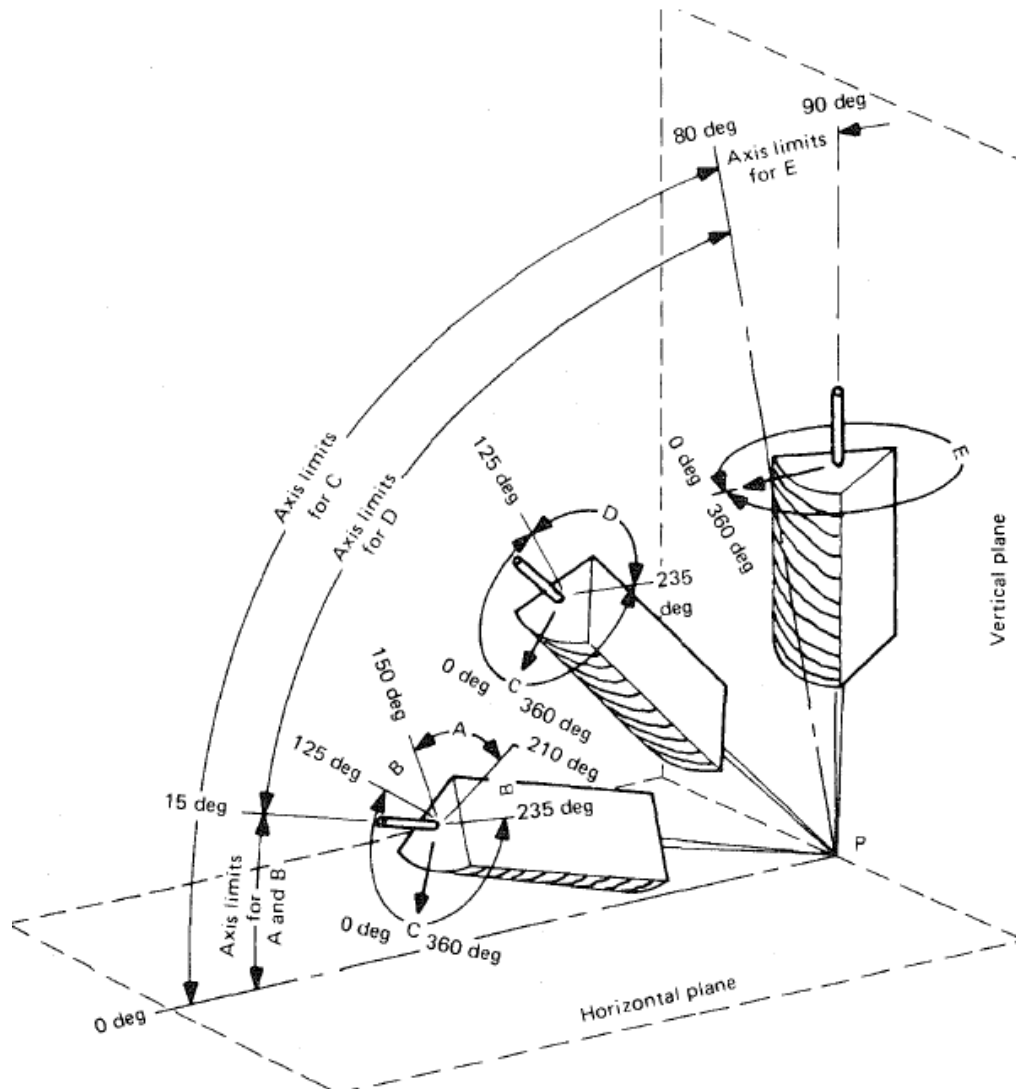


Gambar 2.12 Posisi pengelasan untuk butt joint
 Sumber: (ASME, 2010)

Tabel 2.17 Posisi pengelasan fillet joint

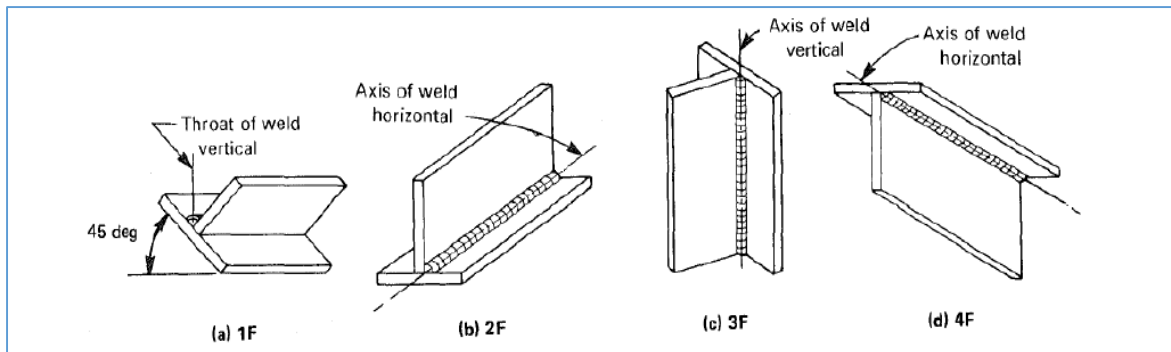
Posisi	Referensi gambar	Kemiringan axis ($^{\circ}$)	Rotasi face ($^{\circ}$)
<i>Down hand</i>	A	0 – 15	150 – 210
Horizontal	B	0 – 15	125 – 150 210 – 230
Vertikal	D	15 – 80	125 – 235
	E	80 – 90	0 – 360
<i>Overhead</i>	C	0 – 80	0 – 125 235 – 360

Sumber : (ASME, 2010)



Gambar 2.13 Posisi pengelasan untuk *fillet joint*

Sumber: (ASME, 2010)



Gambar 2.14 Posisi untuk pengelasan *fillet joint*
Sumber: ASME Section IX, 2010

2.4.4.3 Menghitung Lama Waktu Pengelasan

Hasil produksi pengelasan sulit dihitung secara kuantitatif dan dalam pengukuran produktifitasnya selalu dihubungkan dengan hasil produksi secara fisik, yaitu produk akhir yang terdiri dari bermacam-macam bentuk dan berat. Produktifitas ditunjukkan sebagai perbandingan jumlah keluaran dengan total tenaga kerja yang dipekerjakan. Dalam menghitung produktifitas las, beban pekerjaan dihitung dalam satuan panjang (m) dan lama waktu pengerjaan dalam satuan waktu (jam) (lihat). Fungsi dari produktifitas adalah untuk menentukan JO. Kebutuhan JO dari perhitungan bukanlah JO yang sebenarnya karena pekerja dilapangan hanya dapat memanfaatkan 80% waktunya dengan efektif. (Gunawan, 2007)

$$\text{produktifitas} = \frac{\text{beban pekerjaan (m)}}{\text{waktu pengerjaan per orang (J.O)}} \quad (2.2)$$

Produktifitas pengelasan dipengaruhi oleh posisi pengelasan. Produktifitas untuk masing-masing posisi pengelasan dapat dilihat pada tabel 2-18.

Tabel 2.18 Produktifitas pengelasan berdasarkan posisinya

Posisi	Beban pekerjaan (m)	Waktu (menit)	Produktifitas (m/JO)
<i>Down hand</i>	1	14.24	4.21
Horizontal	1	15.94	3.76
Vertikal	1	53.27	1.13
<i>Overhead</i>	1	43.27	1.39

Sumber: (Gunawan, 2007)

2.4.4.4 Menghitung Kebutuhan Las

Dalam proses pengelasan, kebutuhan elektrode las dapat dihitung dengan beberapa metode. Misalnya menggunakan metode yang diajukan oleh ESAB. Tahap utama dalam ,menghitung kebutuhan elektrode adalah dengan menghitung volume logam las. Setelah

didapat volume las, kemudian dapat dicari berat elektrode yang dibutuhkan dengan mengalikan volume dengan faktor efisiensi. Faktor efisiensi pengelasan dari beberapa metode pengelasan dat dilihat pada Tabel 2-19.

Tabel 2.19 Efisiensi penggunaan elektrode pada beberapa metode pengelasan

Metode	Efisiensi deposisi (%)	Metode	Efisiensi deposisi (%)
SMAW	99	FCAW (dengan gas pelindung dari luar)	88
GMAW (99% Ar, 2% O2)	98	FCAW	78
GMAW (5% AR, 25% CO2)	96	SMAW (panjang stik 12'')*	59
GMAW (CO2)	93	SMAW (panjang stik 14'')*	62
Metal Cored Wires	93	SMAW (panjang stik 18'')*	66

Sumber : (ESAB, 2015)

Berat logam las yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu sambungan las dapat dihitung dengan .

$$P=WL/E \quad (2.3)$$

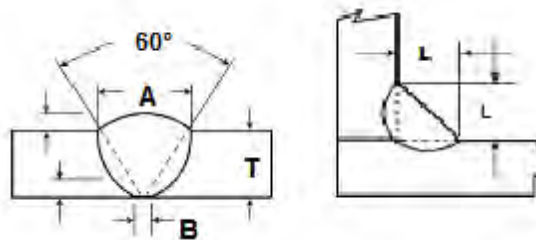
Dimana:

- P = berat *electrode* yang dibutuhkan (kg)
W = berat logam las persatuan panjang (kg/m)
L = panjang kampuh las (m)
E = Efisiensi deposisi (%)

Dalam menghitung berat logam las per meer, hal-hal yang perludipertimbangkan antara lain:

1. Luas penampang kampuh las
2. Panjang kampuh las
3. Volume las
4. Berat logam las per kubik

(ESAB, 2015)



Gambar 2.15 Pengukuran dimensi penampang kampuh las

Sumber: (ESAB, 2015)

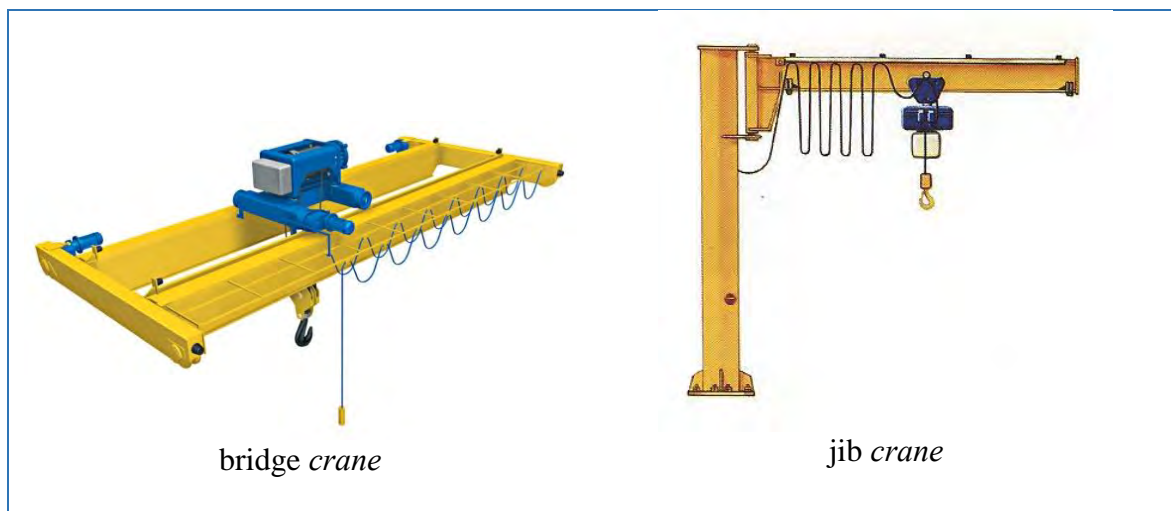
2.4.5 *Material Handling*

Proses pembangunan kapal membutuhkan banyak proses manufaktur dan konstruksi yang terpisah. Baik material mentah atau peralatan diantarkan ke galangan melalui berbagai tindakan hingga material dan perlengkapan tersebut dibangun menjadi sebuah kapal jadi. Sesuai dengan proses produksi ini, pemindahan material selama proses produksi, mencakup rentang beban dan ukuran yang luas, di dalam bengkel, antar bengkel dan gudang, dan dari atau menuju area pembangunan. Berikut akan dibahas peralatan-peralatan tertentu dan penggunaannya dalam proses pembuatan dan pembangunan kapal.

Peralatan angkat dapat dibedakan menjadi beberapa golongan: *conveyor*, *crane* dan katrol, kendaraan, dan kontainer. (Storch, 1995)



Gambar 2.16 *Conveyor*
Sumber: (fluidor, 2016)





Gambar 2.17 Beberapa jenis *crane*

Sumber: (cranedepot, 2016), (angliahandling, 2016), (crane-manufacturers, 2015),
(123rf, 2015)

2.5 Teknis Produksi Kapal

Uraian mengenai teknis produksi kapal dibahas lengkap oleh Schlott dalam catatannya tentang *Shipbuilding technology*. Dalam catatan tersebut dikatakan bahwa proses produksi kapal di galangan dapat dibagi menjadi empat tahap pembangunan. Tahap pertama adalah pembentukan *part* dari lembaran-lembaran baja. Tahap kedua adalah *sub-assembly*, yaitu proses penggabungan *part-part* tunggal menjadi bagian yang lebih besar. Tahap ketiga adalah *assembly*, yaitu proses penggabungan antara gabungan pelat dan sistem penegaran menjadi seksi atau blok. Tahap terakhir adalah *joining/erection* yang merupakan proses penggabungan seksi-seksi atau blok-blok menjadi badan kapal utuh di *building berth*. (Schlott, 1980)

2.5.1 *Subassembly*

Proses *subassembly* paling umum diterapkan dalam penggabungan antara *face plate* dan *web plate* yang membentuk sebuah profil. Untuk membentuk profil dengan ukuran yang cukup besar, penggabungan beberapa *web plate* dan *face plate* juga dilakukan pada tahap ini. (Schlott, 1980)

Proses *subassembly* biasanya dilakukan di dalam bngkel *subassembly*. Penggabungan material dilakukan di atas meja *assembly* atau di atas lantai datar. Contoh pengerjaan *subassembly* di atas meja *assembly* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Pengerjaan *subassembly* di atas meja *assembly*

2.5.2 *Assembly*

Pada proses *assembly*, ada proses bertahap untuk membangun sebuah seksi, mulai dari pembuatan panel, hingga penggabungan panel menjadi blok badan kapal. Panel adalah sebuah konstruksi yang terdiri dari pelat-pelat datar yang dilaskan dan diberi penegaran berupa balok-balok konstruksi yang dilaskan. Ada dua macam panel, *flat panel* dan *curved panel*. (Schlott, 1980)

Proses *assembly* dapat dilakukan di atas *assembly platform*, lantai datar, *moulding bed* dan sarana lain yang mendukung. Contoh *assembly platform* yang digunakan di PT PAL indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 *Assembly platform*

2.5.2.1 *Assembly Panel/seksi*

Seksi yang membentuk kapal dapat dibagi menjadi dua bagian, seksi datar dan seksi 3D. Seksi datar adalah nama yang diberikan untuk struktur lambung yang terdiri dari panel datar atau yang sedikit melengkung yang telah selesai dilaskan dengan penegarnya. Contohnya antara lain: seksi sekat, geladak dan lantai, bangunan atas, dan juga seksi alas dan sisi yang digabungkan pada pelat sisi yang datar.



Gambar 2.20 Panel datar



Gambar 2.21 Panel 3D

Seksi 3D adalah nama untuk struktur yang membentuk bagian dari lambung kapal dengan permukaan yang membentuk kurva. Yang termasuk dalam seksi ini antara lain kompartemen tertutup dimana semua atau sebagian pekerjaan *hull assembly* telah dilakukan. Seksi alas dengan *inner bottom*, seksi sisi dengan kompartemen tertutup seperti *wing tank* dan lain sebagainya. Contoh lain adalah *fore body* dan *after body* yang *diassembly* jauh dari *building berth*. Untuk seksi yang bervolume seperti ini, biasa disebut dengan *block section*.

Panel dibuat dari pelat-pelat datar yang dilaskan dan dilaskan dengan sistem penegarannya. *Flat panel* and *curved panel* dibuat dengan mengelaskan pelat dan kemudian penegar-penegar dipasangkan dan dilaskan. Penggabungan *flat section* dilakukan di atas *fabrication platform*, diatas lantai atau dilakukan diatas panel *assembly line*. Penggabungan pelat pendek harus diawali dengan menggabungkan pelat-pelat tersebut menjadi gabungan pelat yang lebih panjang, sesuai dengan panjang panel yang dibuat. Setelah itu bisa dilakukan pengelasan lajur-lajur pelat menjadi pelat yang lebih lebar. Pengelasan lajur pelat dimulai dari setengah panjang pelat. Biasanya penegaran dipasangkan pada panel sebelum panel dibalik untuk dilakukan pengelasan punggung. Hal ini hanya bisa dilakukan untuk pane-panel kecil dan profil terpasang paralel dengan sambungan memanjangnya. Jika tidak, pengelasan punggung harus dibuat sebelum penegar dipasangkan.

2.2.5.2.1.1 *Assembly flat section.*

Flat section *diassembly* atau di *fitting up* dan dilaskan diatas platform datar atau diatas *moulding bed* jika *section* tersebut memiliki sedikit kelengkungan. Pada sebagian besar kasus fabrikasi *flat section* terdiri dari *fitting* dan *welding* gading-gading dan penegar-penegar lain pada pelat yang telah digabungkan dan dilaskan sebelumnya. penyetelan dan pengelasan panel ini mungkin sebaiknya dilakukan di *assembly* area yang terlindung dari perubahan cuaca. Pemasangan *framing system* dilakukan dengan dua cara. Yaitu *separate method* dan *cell method*.

Pada *separate method*, yang mana lebih sering digunakan untuk fabrikasi *flat* panel menggunakan mesin las otomatis yang mana nantinya akan disebut sebagai *automatic panel assembly line*. Semakin besar berat penegaran, sebagian besar pembujur, dilaskan terhadap panel terlebih dahulu, kemudian diikuti pengelasan pelintang. Titik pertama dimana pembujur di *fitting up* dan ditandakan pada panel, dengan menimbang penyusutan setelah proses pengelasan. Setelah penyelesaian penegaran utama, pelintang dipasangkan dan dilaskan, pertama-tama pada pelat dengan menggunakan pengelasan otomatis, selanjutnya pada penegar awal menggunakan metode manual. Pengelasan manual ini sebagian besar

dilakukan dengan posisi vertikal keatas dengan konsekuensi pengerjaan yang lama dan biaya yang besar.

Metode lain dimana *separate method* tidak dapat diaplikasikan, sistem penegaran yang terdiri dari gabungan antara pembujur dan pelintang yang telah dilaskan kemudian dipasangkan pada pelat. Metode ini disebut dengan *cell methode*, atau *egg box construction*.

Pengelasan pada *cell* utuh memerlukan perhatian khusus untuk urutan pengelasannya demi menghindari tegangan dan deformasi karena proses pengelasan.

- Pemasangan seksi geladak dengan *curvature*.

Prinsip utama dalam membuat panel dengan kelengkungan tidak beda jauh dengan *flat panel*. Perbedaan utamanya adalah prosesnya tidak dapat dilakukan pada platform fabrikasi yang datar. Tapi harus dilakukan diatas *bed* yang memiliki kelengkungan tertentu. Selain itu, pengelasan pelat harus dilakukan terlebih dahulu dari kedua sisi sebelum balok-balok konstruksi dipasangkan.

2.2.5.2.1.2 Assembly seksi 3D

Panel yang *difit up* dengan cara ini tidak boleh menjadi terlalu lebar sebelum pengelasan pada satu sisi dilakukan. Hal ini untuk menghindari *crack* dan distorsi terjadi pada gabungan pelat yang besar.

- *Assembly of bottom section*.

Assembly bottom section pada umumnya dilakukan pada *moulding bed*. Diawali dengan pemasangan pelat kulit seperti pada proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Ketika pengelasan sisi dalam selesai dilakukan posisi plat yang bersinggungan dengan cetakan diperiksa posisinya. Urutan dimana balok-balok konstruksi pasangkan, tergantung pada sistem penegaran, desain dan bentuk seksi dan teknologi pengelasannya. Sebagai acuan, konstruksi yang melewati garis tengah seksi, harus dipasangkan terlebih dahulu, dan diikuti dengan konstruksi-konstruksi lain sebagaimana untuk menghindari destorsi karena pengelasan.

Untuk pengelasan manual, hal ini berarti pemasangan vertikal *keel* , diikuti dengan wrang-wrang, kemudian penumpu sisi. Setelah pengelasan konstruksi-konstruksi ini, barulah pembujur dimasukkan dari ujung melalui potongan pada wrang.

Untuk pengelasan dengan mesin otomatis, langkahnya berkebalikan. Setelah *center girder*, pembujur dipasangkan dan dilaskan sebelum *side girder* dan wrang-wrang dipasangkan. Proses ini membutuhkan proses pengelaman yang hati-hati. Antara pelat dan

moulding bed diletakkan beban tambahan yang diletakkan diatas pelat untuk menghindari distorsi.

- *Assembly of side section.*

Seksi sisi dengan kurvature tertentu juga diassemble diatas *moulding bed*. Bisa juga dilakukan diatas sekat memanjang jika ada. Prinsip dasar dari penggabungan *side section* sama dengan selbelumnya. Perbedaannya adalah pemasangan balok-balok konstruksinya lebeih rumit, terutama pada haluan dan buritan kapal dimana penegar tidak dipasangkan rectangular dan tidak tegak lurus terhadap pelat kulit.

2.2.5.2.1.3 *Assembly* seksi haluan dan buritan



Gambar 2.22 *Assembly* blok haluan diatas *assembly platform*

Proses *assembly* blok haluan dilakukan dengan posisi *upside down* dengan pelat geladak sebagai dasarnya dan balok-balok konstruksi *difit up* diatasnya. Cara pembangunan ini dapat meningkatkan akurasi pemasangan balok-balok konstruksi.



Gambar 2.23 Konstruksi alas kapal patroli 60 m konstruksi memanjang

Proses *assembly* yang dilakukan di luar ruangan tidak memungkinkan untuk dilakukan dengan proses pengelasan dengan perlindungan gas. Proses pengelasan yang memungkinkan adalah proses dengan perlindungan *flux* seperti SAW, SMAW dan FCAW. Proses pengelasan sebagian besar dilakukan menggunakan proses SMAW. Hal ini meningkatkan resiko terjadinya deformasi setelah pengelasan. Hal ini dikarenakan proses pengelasan manual adalah proses yang lambat sehingga meningkatkan *heat input* pada material las.

Proses pengelasan SAW baik digunakan untuk pengelasan butt join. Namun proses pengelasan ini terbatas pada posisi *down hand* saja.

Proses *assembly* untuk bagian haluan kapal sebaiknya dilakukan dengan posisi *upside down*. Dengan menggunakan pelat geladak sebagai dasarnya, balok-balok konstruksi *lift up* dan dilaskan, baru kemudian dilakukan pemasangan pelat kulit. Metode ini dapat mempermudah penggabungan balok-balok konstruksi karena pada *fore body*, penegaran tidak dipasangkan saling tegak lurus, baik terhadap pelat kulit, maupun terhadap konstruksi lain. Metode ini juga dapat meningkatkan akurasi pemasangan balok-balok konstruksi.

Namun kelemahan dari metode ini adalah pada pemasangan dan pengelasan pelat kulit terhadap balok-balok konstruksi. Prosesnya harus dilakukan dalam posisi yang sempit.

Untuk proses *assembly* bagian kapal selain ceruk haluan, prosesnya bisa menjadi lebih mudah jika dilakukan dengan metode panel. Metode ini diawali dengan pembuatan panel-panel pada *assembly* platform, kemudian panel-panel tersebut digabungkan menjadi bagian yang lebih besar hingga menjadi sebuah ring *block*.

Pada proses pembuatan panel, alur proses pengelasan harus diperhatikan untuk meminimalkan *heat input*. Hal ini sangat penting untuk mencegah terjadinya deformasi pasca pengelasan. Deformasi pasca pengelasan ini dapat menyebabkan timbulnya ketidaklurusan (*misalignment*) ketika panel-panel disatukan. Selain itu juga perlu dilakukan perhitungan penyusutan karena pengelasan sehingga nantinya tidak timbul celah (*gap*) ketika panel-panel disatukan.

2.5.2.2 Assembly Blok

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, ada banyak keuntungan dalam proses penggabungan bagian-bagian kapal jauh dari *building berth*. Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain:

- Kualitas pekerjaan yang lebih baik, dan dapat mengurangi beban pekerja karena kondisi pengerjaan yang baik.
- Waktu penyelesaian yang pendek karena pembangunan dilakukan jauh dari *building berth*.

Tahap terakhir dari proses *assembly* adalah *block assembly*, atau yang biasa disebut dengan *ring section*, dari panel dan seksi yang terdiri dari blok memanjang kapal yang telah diselesaikan. Contoh *ring section* dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 *Ring section*

Sekali lagi, langkah-langkah *assembly* adalah:

- Pembuatan *individual member* (pelat, profil)
- Penggabungan *individual member* menjadi gabungan-gabungan kecil (wrang, *girder*)
- Penggabungan panel dari pelat-pelat, profil dan gabungan profil
- Penggabungan seksi dari panel-panel (termasuk seksi bervolume)
- Penggabungan blok dari seksi- seksi dan panel-panel.
- Penggabungan kapal dari blok-blok.

Sejauh mana langkah *assembly* dibawa, tergantung pada tipe dan ukuran kapal. Teknologi yang digunakan di galangan, dan peralatan transportasi yang tersedia.

Kapal-kapal besar dan kecil dapat dibangun dengan metode blok. Metode ini memiliki keuntungan teknis dimana jig dapat digunakan pada skala yang luas, proses *fitting*

up dan *welding* dapat mekanisasi, dan produktifitas pekerja dan kualitas pekerjaan dapat ditingkatkan ketika beberapa blok yang sama dikerjakan.

Berbagai tipe jig dan peralatan lain dapat digunakan dalam penggabungan blok, tergantung pada tipe dan ukuran kapal, juga kondisi produksi kapal. Blok dapat difabrikasi, atau *diassembly*, dilas dan dicek sebagai berikut:

- Pada *keel blok* dan *support* di dalam *work shop* atau *outdoor*
- Pada *assembly trolley*
- Pada *bed jig*
- Pada tiap proses teknis untuk pembangunan blok

2.5.3 Joining

Proses joinnin dilakukan di *building berth*. Prosesnya sama untuk *building berth* rata atau miring. Hanya pengecekannya yang sedikit berbeda. Pada tahap penggabungan ini perlu ditentukan terlebih dahulu bagian mana yang dijadikan titik awal penggabungan. Pembanguna lambung seringkali dimulai dari tengah kapal jika mesin induk terletak disana, dan pembangunan dilanjutkan kedepan dan kebelakang secara bersamaan. Sebaliknya, jika permesinan ada di buritan kapl, maka pembangunan dimulai dari buritan. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa pembangunan kapal harus dimulai dari bagian yang membutuhkan waktu penyelesaian yang lebih banyak. (Schlott, 1980)

2.5.3.1 Penggabungan Lambung Dari Seki-Seksi

2.2.5.3.1.1 Pemasangan seksi alas.

Pemasangan seksi alas dimulai dari seksi awal (initial) menggunakan *crane* pada *keel block* dan *support*. Posisi memanjangnya dan ketinggiannya kemudian dicek, juga posisinya terhadap garis centerline terhadap grid yang pasangkan sebelumnya pada *building berth*, dan perbedaan kemiringannya. Ketika proses ini selesai, seksi alas selanjutnya diantarkan ke *building berth* dan dipasangkan. Pengecekan posisinya adalah sebagai berikut:

- a) Untuk menjamin bahwa garis CL pada pelat kulit dan pelat alas dalam bercocokan dengan gari CL di *building berth* dan *initial section*
- b) Untuk menjamin bahwa balok-balok konstruksi alas dapat digabungkan dan bercocokan.
- c) Untuk ketinggian di atas base line di garis CL, dan pada titik terjauh setengah lebar kapal.
- d) Untuk kemiringanm bisa dicek menggunakan *water pass*.

- e) Seksi yang dipasangkan harus dicocokkan dengan initial *section* sepanjang parimeter *butt joint*. (Schlott, 1980)

2.2.5.3.1.2 Pemasangan sekat-sekat

Sebagai acuan, sekat melintang dipasangkan sebelum seksi sisi. Tapi jika lambung kapal digabungkan di building bed jig atau jika seksi sisi mempunyai bukaan, maka sebaiknya memasang seksi sisi dulu kemudian memasang sekat. Pada pemasangan sekat, pengecekan yang dilakukan antara lain:

- a. Panjang, dengan mengecek bahwa tepi bawah sekat bertepatan dengan garis referensi *frame station* pada pelat alas atau pelat alas dalam.
- b. Pada bidang vertikal, dengan bantuan bandul, diukur kelurusan antara tepi atas sekat dengan pelat alas pada garis CL.
- c. Untuk setengah lebar kapal, untuk menjamin bahwa garis CL sekat bertepatan dengan garis CL pada lambung
- d. Horizontal, dengan menggunakan *water pass* diukur kelurusan sepanjang garis sekat.

Sekat akhirnya dipasangkan pada posisinya dan dilas titik ke pelat alas sepanjang garis *frame station*. Jika ada sekat utama memanjang, maka sekat melintang dan memanjang dilaskan terlebih dahulu. (Schlott, 1980)

2.2.5.3.1.3 Pemasangan seksi sisi

Ketika ketika sekat utama melintang dan memanjang telah dipadangkan dan dilaskan, seksi sisi disekitarnya dipasangkan, dicocokkan dan kemudian dilaskan. Pengelasan dimulai dari lajur-lajur pelat kemudian sepanjang sambungannya. (Schlott, 1980)

2.2.5.3.1.4 Pemasangan seksi geladak.

Seksi geladak dipasangkan ketika semua struktur dibawahnya telah terpasang dan semua peralatan dan permesinan telah terpasang pada kompartemennya. Pada proses pemasangan seksi geladak, pengecekan yang harus dilakukan antara lain:

- a. Ke arah memanjang: dengan membuat garis acuan pada station gading pada pelat geladak dan pelat sisi, garis-garis ini harus bertepatan pada gading-gading melintang.

- b. Pada setengah lebar kapal: dengan membuat garis tengah pada pelat geladak dan pelat alas dalam (pada lunas vertikal). Pengecekan kelurusan bisa dilakukan menggunakan bandul dan dilakukan di ujung-ujung blok.
- c. Pada tinggi kapal: dengan mengukur ketinggian pada ujung depan dan belakang seksi sepanjang garis CL, dan membuat garis referensi pada geladak bertepatan dengan garis pada pelat sisi.

Butt joint pada seksi geladak dibuat manual dari dalam oleh 2 *welder* yang bekerja bersamaan dari garis tengah ke samping. Butt join pada geladak utama bagian atas dilakukan dengan pengelasan otomatis dalam satu kali pass. Sekat melintang kemudian diluruskan dengan geladak, atau dengan ambang pada geladak, dan kemudian dilaskan manual dari dua sisi. Butt joint pada pembujur geladak kemudian dibuat dengan manual, dan pembujur-pembujur ini dilaskan pada pelat di area penyambungan. Langkah selanjutnya adalah memasang braket dan penghubung. (Schlott, 1980)

2.2.5.3.1.5 Pemasangan seksi haluan dan buritan

Pemasangan seksi haluan dan seksi buritan mengikuti prinsip yang sama dengan penjelasan di atas. Kesulitannya melibatkan bentuk seksi buritan, dimana garis-garisnya yang kompleks membuat proses pengecekan menjadi lebih rumit. Ditambah lagi dengan adanya poros-poros dan kemudi yang posisinya harus tepat.

Jika seksi sudah dipasangkan dan di cek posisinya, *overlength* sepanjang pelat sisi bisa dipotong dan dilakukan persiapan untuk proses pengelasan. Ketika seksi buritan telah selesai dilaskan, seksi buritan di atasnya bisa dipasangkan pada posisinya. Kedua seksi tersebut kemudian digabungkan sepanjang lajur pelat sisinya hingga seksi bawahnya dari buritan pada area CL, menerus pada kedia sisinya.

Ketika seksi haluan dipasangkan, seksi depan dipasangkan sehingga memberikan kemiringan haluan yang sesuai dan mengikuti garis CL yang ada pada dasar *building berth*. Posisi seksi-seksi ini kemudian dicek menggunakan bandul. (Schlott, 1980)

2.5.3.2 Penggabungan Lambung Kapal dari Serangkaian Blok atau Modul

Blok-blok siantarkan ke *building berth* menggunakan *trolley* atau *crane* berkapasitas tinggi. Blok awal (*initial block*) adalah yang pertama kali diantarkan, diposisikan, diperiksa dan dipasangkan pada tempatnya. Pengecekan pada proses pemasangan terutama pada kesesuaiannya dengan garis CL blok dan garis CL di *building berth* dan kesesuaian kemiringan (*heel*) pada ujung-ujung blok. Pengecekan kelurusan garis, bisa dilakukan

dengan menjatuhkan bandul pada lokasi-lokasi tertentu dan pengecakan kemiringan bisa dilakukan dengan *waterpass* atau *theodolic* pada garis referensi di geladak. (Schlott, 1980)



Gambar 2.25 Pemindahan blok badan kapal dari *assembly platform*



Gambar 2.26 Pemindahan blok dari *assembly area* ke *building berth* menggunakan *crawler*



Gambar 2.27 Penggabungan dua buah *block* di *building berth*

Setelah blok awal dipasangkan pada posisinya, blok selanjutnya atau dua blok pada kedua sisi blok awal, diantarkan ke *building berth*. Jika dua buah blok diantarkan, maka waktu konstruksi lambung akan berkurang karena pekerjaan dapat dilakukan pada kedua sisi blok awal.

Setiap blok yang baru, dicocokkan dengan blok awal yang telah dicek dan dipasangkan pada posisinya. Blok tersebut kemudian diluruskan, diperiksa akurasi seperti pada blok awal, pada garis CL dan kemiringannya.

Ketika telah dilakuakn *edge preparation*, blok dipasangan pada blok awal dengan celah las normal, dan blok digabungkan dengan las titik pada tepian pelat kulit, pelat lantai dan balok-balok membujur. Pada proses penggabungan dengan las titik, harus diperiksa bahwa ujung-ujung yang dipasangkan tidak bergelombang atau melenceng satu sama lain. Beberapa galangan memberikan celah yang lebih lebar pada pembujur untuk memberikan ruang keika terjadi penyusutan pada saat pengelasan pelat lambung. Galangan yang lain mencegahnya dengan mengelas pembujurnya terlebih dahulu.

Sangat disarankan untuk memberikan ruang untuk penyusutan pada but joint, yang berarti pemberian celah yang lebih lebar pada pembujur dan mengelaskannya belakangan. Pada kasus seperti itu, perhatian harus ditujukan agar penyusutan tidak menyebabkan *bending* ke atas pada keseluruhan blok ketika geladak dilaskan belakangan. Pelat kulit terluar

dan *flooring* dilaskan terlebih dahulu secara manual pada balok-balok sisi, dan kemudian pengelasan diselesaikan pada sisi lainnya setelah kampuh untuk *root pass* telah dibuat.

Proses manapun yang digunakan, urutan khusus dimana *butt joint* antara blok lambung dilaskan harus diamati. Dasar arah pengelasan adalah sebagai berikut:

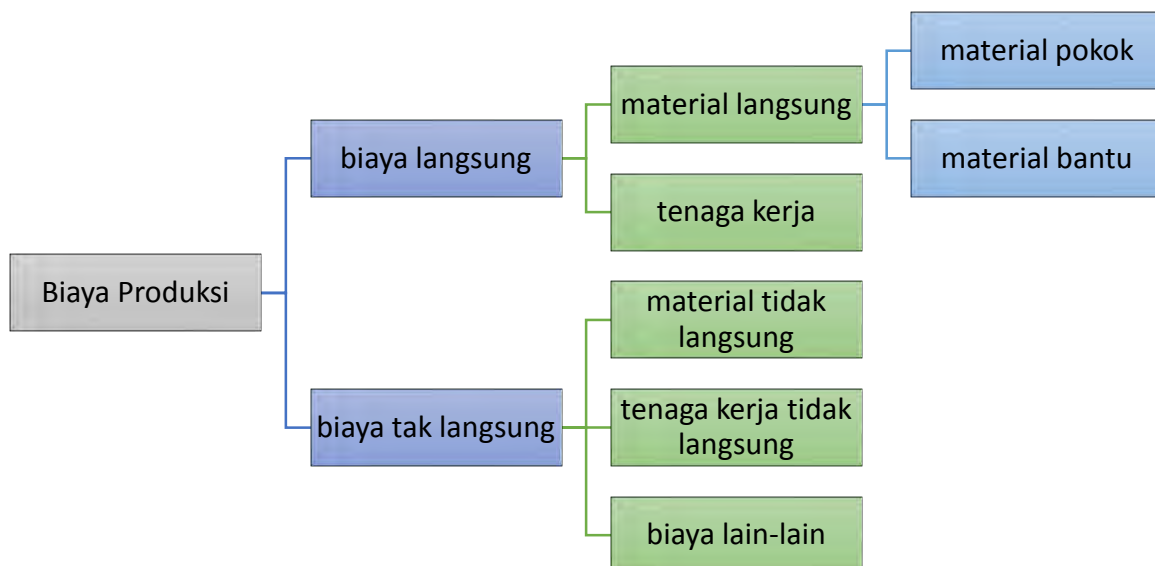
- Ke kedua sisi garis CL
- Vertikal dari *vertical keel* dan *upper deck keel* over *deck* atau *inner bottom flooring*

Tidak kurang dari 4 *welder* (untuk proses pengelasan manual) harus bekerja bersamaan. Dengan pengelasan otomatis, seluruh tinggi pelat sisi dilaskan dengan sekali jalan dari bawah ke atas

Ketika pengelasan pelat sisi dan flooring telah selesai dilakukan, *butt joint* pada balok-balok memanjang kemudian dilaskan. Pada area sambungan blok, dilakukan pengelasan balok-balok pembujur dengan pelat sisi. (Schlott, 1980)

2.6 Biaya Produksi Kapal

Biaya pembangunan kapal secara umum dibagi menjadi biaya langsung dan tak langsung. Biaya langsung adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun kapal dan dipengaruhi oleh tipe dan jumlah kapal yang dibangun. Biaya tak langsung adalah biaya yang tidak mempengaruhi nilai kapal. Banyaknya biaya tak langsung tidak dipengaruhi oleh besarnya proyek pembangunan kapal.



Gambar 2.28 Pembagian biaya dalam produksi kapal

2.6.1 Biaya Material

Biaya material adalah biaya yang diperlukan untuk membeli material langsung untuk membangaun kapal. Material langsung adalah material yang dapat menambah nilai kapal. Jumlah material langsung dipengaruhi oleh ukuran dan konstruksi kapal yang dibangun. Yang termasuk dalam material langsung antara lain pelat, profil dan elektrode las.

2.6.2 Biaya Tenaga Kerja

Kapal biasa diproduksi dalam jumlah tunggal atau kelompok dalam periode beberapa tahun. Sehingga tidak masuk akal jika kapal ditinjau dari sebuah kapal jadi tapi lebih cenderung ditinjau dalam satuan output. Biasanya output diukur dalam satuan persentase penyelesaian kapal. Pengukuran ini sangat subjektif dan bergantung pada asumsi jumlah bobot pekerjaan dari semua komponen pembentuk kapal. Komponen, yang biasa disebut paket kerja, perlu diestimasi untuk menentukan kebutuhan pekerja berdasarkan standar galangan. Jumlah jam kerja aktual yang dibutuhkan bervariasi tergantung kapan dan dimana pekerjaan dilakukan, dan pekerjaan lain apa yang dikerjakan dalam area yang sama dengan area pembangunan kapal. Selain itu, kebutuhan jam orang juga menentukan alokasi anggaran. Paket kerja tidak bisa diselesaikan jika anggarannya telah habis terpakai, hal ini mengakibatkan kecenderungan untuk meminjam jam orang dari pekerjaan lain. Hal ini mengakibatkan pembangunan kapal dimulai dengan estimasi jam orang yang lebih sedikit dari jumlah jam orang yang dibutuhkan untuk membangun kapal, oleh karena itu, progres pembangunan kapal biasa dihitung menggunakan satuan jam orang. (Storch, 1995)

Kebutuhan tenaga kerja sangat tergantung pada beban pekerjaan. Sebagian besar galangan kapal menggunakan tenaga kerja borongan yang pembayarannya sesuai dengan beban pekerjaan dalam satuan ton. Untuk menghitung kebutuhan tenaga kerja, pertama tama kita harus menghitung beban pekerjaan (ton) dan lama waktu pengerjaan. (Storch, 1995)

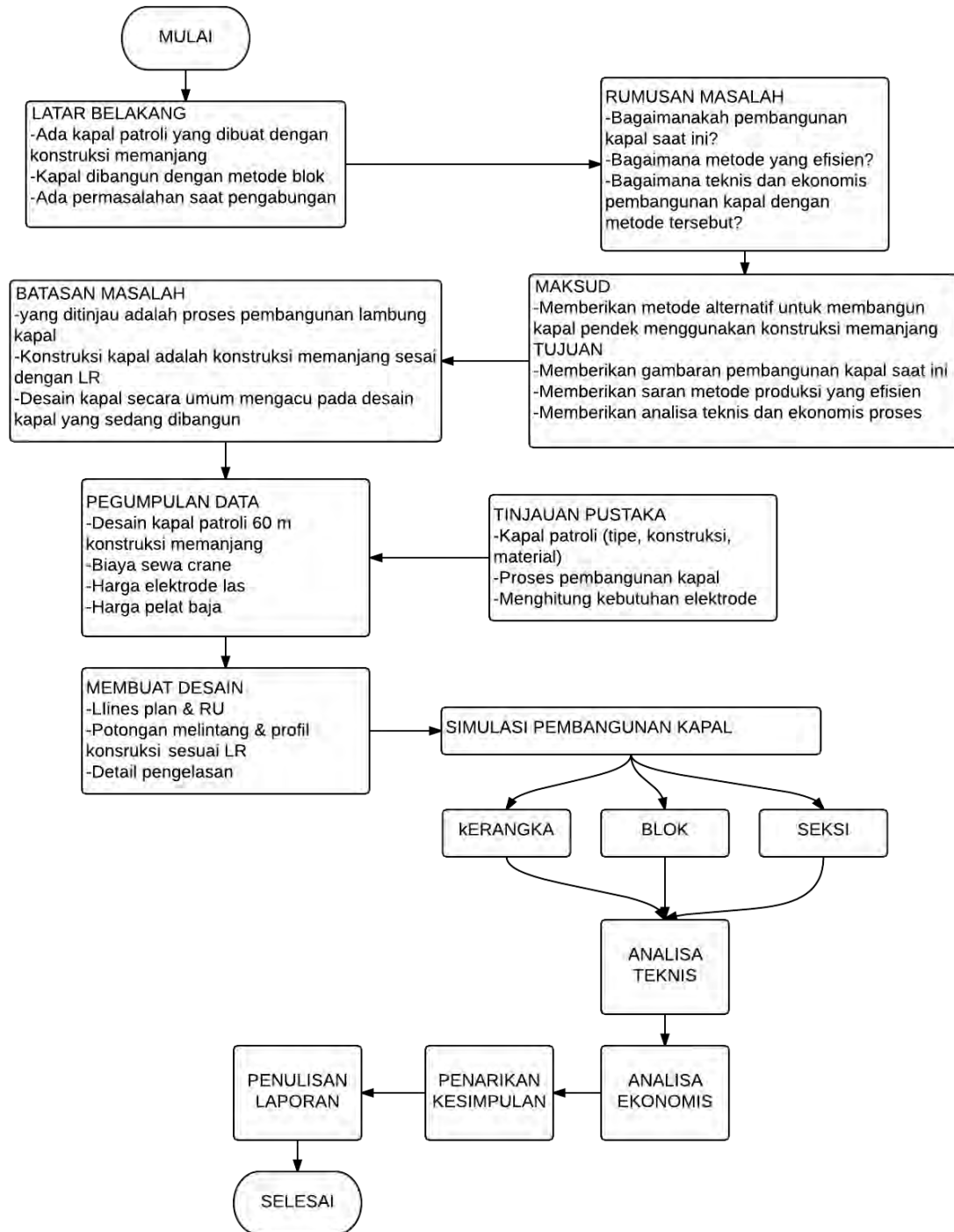
2.6.3 Biaya Peralatan Produksi

Dalam membangun kapal, diperlukan peralatan-peralatan produksi untuk menjamin proses pembangunan kapal berjalan dengan baik. Jenis dan kapasitas peralatan produksi tergantung pada ukuran kapal yang dibangun dan teknologi yang diterapkan oleh galangan. Peralatan produksi yang dipilih hendaknya dapat mendukung produktifitas galangan tanpa menambah biaya produksi yang terlalu besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Pengerjaan



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Tahap awal dari pengerjaan tugas akhir ini adalah membaca dan mencari referensi terkait dengan judul yang akan dikerjakan. Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk memahami permasalahan yang ada, sehingga memunculkan dugaan awal yang akan disusun menjadi hipotesa. Literatur yang dipelajari adalah yang berkaitan dengan pemahaman teori dan konsep produksi kapal. selain itu, juga dilakukan studi literatur mengenai kapal patroli (jenis, spesifikasi, bentuk lambung, material lambung) dan konstruksi kapal (memanjang, melintang, campuran).

Untuk melengkapi informasi yang didapat selama melakukan studi literatur, dilakukan pengumpulan data di lapangan. Data yang diperlukan antara lain produktifitas pekerja galangan, harga material dan jam orang, desain kapal patroli 60 m yang dibangun dengan konstruksi memanjang. Data awal tersebut dijadikan acuan untuk mengerjakan tugas akhir.

3.3 Pembuatan Desain

Pada tahap ini dilakukan pengembangan desain dari data awal yang telah didapat. Desain utama yang dikembangkan adalah desain lambung dan desain konstruksi. Dengan menggunakan data ukuran utama dari kapal sejenis (SKIPI 60 m) dikembangkanlah bentuk lambung kapal menggunakan bantuan software desain Maxurf. *Output* dari *software* ini adalah gambar rencana garis. Untuk membuat desain konstruksi, dilakukan pengembangan desain konstruksi dari kapal sejenis (SKIPI 60 m). Ukuran profil konstruksi dihitung berdasarkan *Lloyd's Register – Rules and Regulations of the Classification of Special Service Craft* dengan bantuan *software* SSC.

3.4 Simulasi Proses Produksi Kapal

Dari desain yang telah dibuat sebelumnya, dibuat sebuah model kapal dengan bantuan *software* AutoCAD. Dengan memanfaatkan model tersebut, dibuatlah suatu simulasi proses produksi kapal dalam gambar *building sequence*. *Building Sequence* dibuat berdasarkan metode pembangunan yang telah ditentukan. Metode pembangunan yang ditinjau adalah metode pembangunan kerangka, blok dan seksi.

Dari model 3D kapal yang ada, dibuat juga gambar pembagian blok dan pembagian seksi. Pembagiannya dibuat berdasarkan berat seksi sesuai dengan kapasitas *crane* yang ada.

3.5 Analisa Produksi kapal

Dari gambar-gambar yang ada, diamati proses pembangunan kapal mulai dari kapal masih dalam bentuk *part*, hingga menjadi bentuk kapal utuh. Hal-hal yang dianalisa adalah

proses penggabungan *part* menjadi seksi atau blok (*section/block assembly*) dan proses penggabungan seksi atau blok menjadi bentuk lambung kapal utuh (*section/block joining*). Selain itu, ditinjau pembagian blok atau seksi dalam kesesuaiannya dengan kapasitas *crane* yang ada.

Setelah melakukan analisa teknis, kemudian dilakukan analisa ekonomis. Analisa ekonomis meninjau kebutuhan biaya produksi kapal. Biaya produksi yang menjadi perhatian disini adalah biaya pengadaan *crane* dengan sistim sewa perhari.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisa pada metode produksi yang ada, maka ditarik kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan. dalam tugas akhir ini, kesimplan berupa metode yang disarankan dengan menimbang kebutuhan *crane*.

3.7 Penulisan Laporan

Tahap akhir dari Tugas Akhir ini adalah penulisan laporan sebagai bukti pengerjaan Tugas Akhir yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PERHITUNGAN DATA PROSES PRODUKSI

4.1 Ukuran Utama

Jenis Kapal : Kapal patroli
 LoA : 60 m
 Lebar : 8,2 m
 Sarat : 2,17 m
 Tinggi : 4,6 m
 Cb : 0,45
 Kecepatan : 24 knot
 Klasifikasi : LR-Special Service Craft

4.2 Profil Konstruksi Kapal

Kapal patroli 60 m konstruksi memanjang ini dibangun dengan material LR AH42 dengan *yield stress* 446 N/mm² dan *ultimate tensile strength* 546 N/mm². Setelah dilakukan perhitungan konstruksi menggunakan *software* SSC (hasil perhitungan pada lampiran 12), didapat ukuran profil penegar seperti pada Tabel 4.1 dan sistem konstruksinya dapat dilihat pada lampiran 3 dan 4.

Tabel 4.1 Daftar penegar kapal patroli 60 m konstruksi memanjang

	Jenis konstruksi	Ukuran (mm)	Jarak penegar (mm)
Geladak	Pelat geladak	4	
	Pembujur	50 x 5	350
	<i>Deck side girder</i>	225 x 5, 80 x 6	
	Pelintang	245 x 4, 50 x 6	800
Sisi	Pelat sisi	4	
	Pembujur	50 x 6	300
	<i>Side stringer</i>	150 x 4, 50 x 6	
	Pelintang	200 x 4, 50 x 6	800
Alas	Pelat alas	4	
	Pelat lunas	8	

	Pembujur	80 x 6	350
	Pelintang	200 x 4, 50 x 6	800
	<i>Center girder</i>	630 x 10, 100 x 10	
	<i>Plate floor</i>	630 x 10, 150 x 8	800
	<i>Side girder</i>	100 x 10	
Sekat	Pelat sekat	4	
	Penegar sekat	50x6	300
	Penumpu sekat (horizontal)	150 x 4, 50 x 6	
	Penumpu sekat (vertikal)	200 x 4, 50 x 6	

4.3 Proses Produksi Kapal

Proses produksi kapal tergantung pada jenis kapal, ukuran kapal, konstruksi kapal dan fasilitas yang ada di galangan.

4.3.1 Assembly

Dalam proses *assembly*, prosesnya dibagi dalam dua tahap, yaitu *panel/section assembly* dan *block assembly*.

4.3.1.1 Panel/Section Assembly

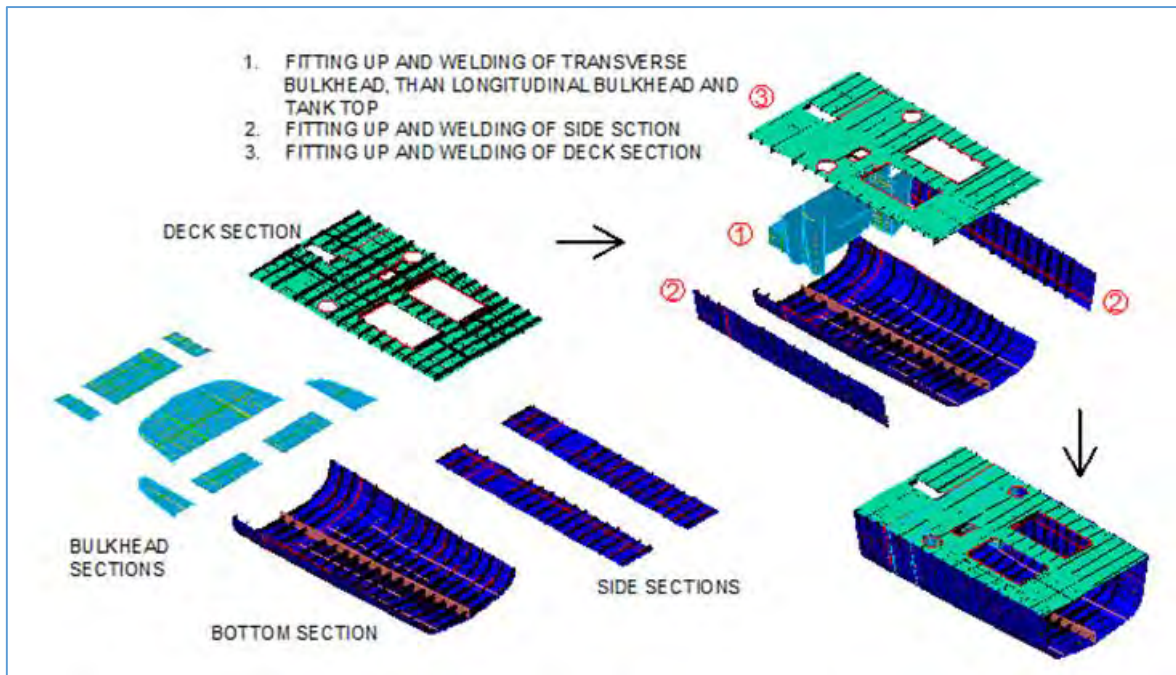
Untuk proses *section assembly*, ada metode yang diterapkan, yaitu :

- *Panel and part assembly method*

Berdasarkan bentuknya, seksi lambung kapal dapat dibagi menjadi dua, *flat section* dan *three dimensional section*. Yang termasuk dalam *flat section* adalah *side section*, *deck section* dan *bulkhead section*. Yang termasuk dalam *three dimensional section* adalah *bottom section*. Urutan pembentukan seksi untuk *flat section* dan *3D section* dapat dilihat pada lampiran 9 dan lampiran 10.

4.3.1.2 Block Assembly

Pada tahapan *block assembly*, pekerjaan yang dilakukan adalah membuat blok dari panel-panel yang telah dibuat sebelumnya. Gambar 4.1 adalah gambar *block assembly* untuk *block no 2*.



Gambar 4.1 Alur pembangunan blok dari seksi-seksi

4.3.2 Joining

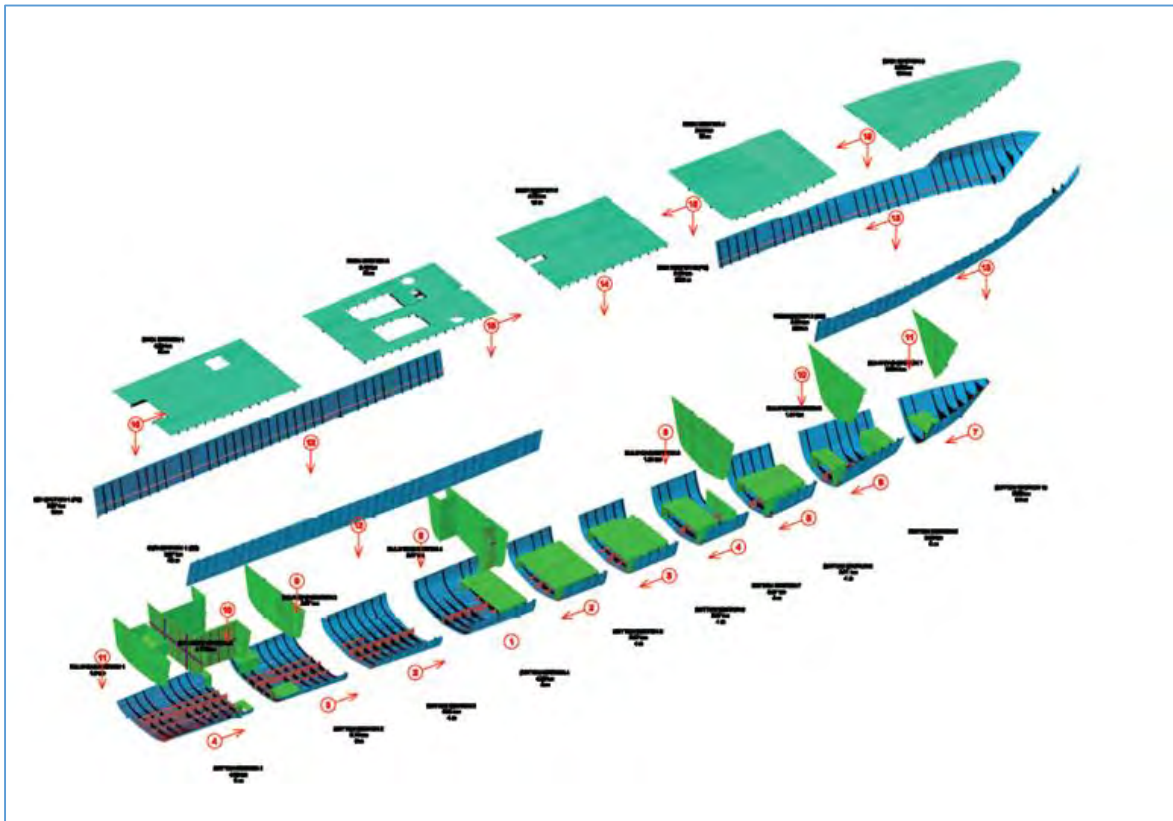
4.3.2.1 Section Joining

Seksi-seksi yang telah dibuat di *assembly* area selanjutnya digabungkan di *building berth* dengan bantuan *crane*. Untuk *crane* dengan kapasitas 5 ton, maka badan kapal dibagi menjadi sejumlah seksi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.2 Pembagian seksi badan kapan dengan kapasitas *crane* 5 ton

Seksi	Berat (ton)	Panjang	Seksi	Berat (ton)	Panjang
<i>bottom section 1</i>	4,36	8	<i>bulkhead section 4</i>	2,07	
<i>bottom section 2</i>	3,78	6	<i>bulkhead section 5</i>	1,21	
<i>bottom section 3</i>	4,64	4	<i>bulkhead section 6</i>	1,04	
<i>bottom section 4</i>	4,29	6	<i>bulkhead section 7</i>	0,644	
<i>bottom section 5</i>	3,97	4	<i>side section 1 (ps)</i>	3,97	32
<i>bottom section 6</i>	3,97	4	<i>side section 2 (ps)</i>	3,29	26,8
<i>bottom section 7</i>	3,27	4	<i>side section 1 (sb)</i>	3,97	32
<i>bottom section 8</i>	3,71	4	<i>side section 2 (Sb)</i>	3,29	26,8
<i>bottom section 9</i>	3,85	6	<i>deck section 1</i>	4,29	12
<i>bottom section 10</i>	2,39	6,5	<i>deck section 2</i>	3,48	12
<i>bulkhead section 1</i>	1,6		<i>deck section 3</i>	4,23	10
<i>bulkhead section 2</i>	4,176		<i>deck section 4</i>	3,96	10
<i>bulkhead section 3</i>	0,97		<i>deck section 5</i>	3,62	13,6

Untuk proses penggabungan seksi, biasa dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.2 Alur penggabungan seksi di *building berth*

4.3.2.2 Block Joining

Untuk galangan dengan kapasitas *crane* 25 ton, lambung kapal patroli ini dapat dibagi menjadi 4 blok seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 4.3 Pembagian blok dengan kapasitas *crane* 25 ton

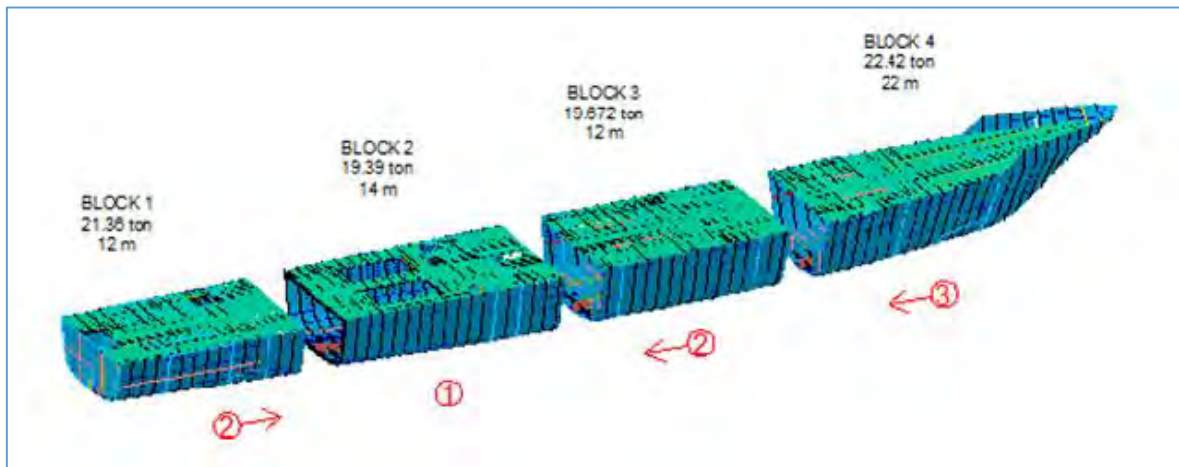
Blok	Berat total (ton)	Panjang blok (m)
block 1	21,360	12
block 2	19,390	14
block 3	20,010	12
block 4	22,420	22

Untuk tahap penggabungannya, dapat dilihat pada gambar Gambar 4.3

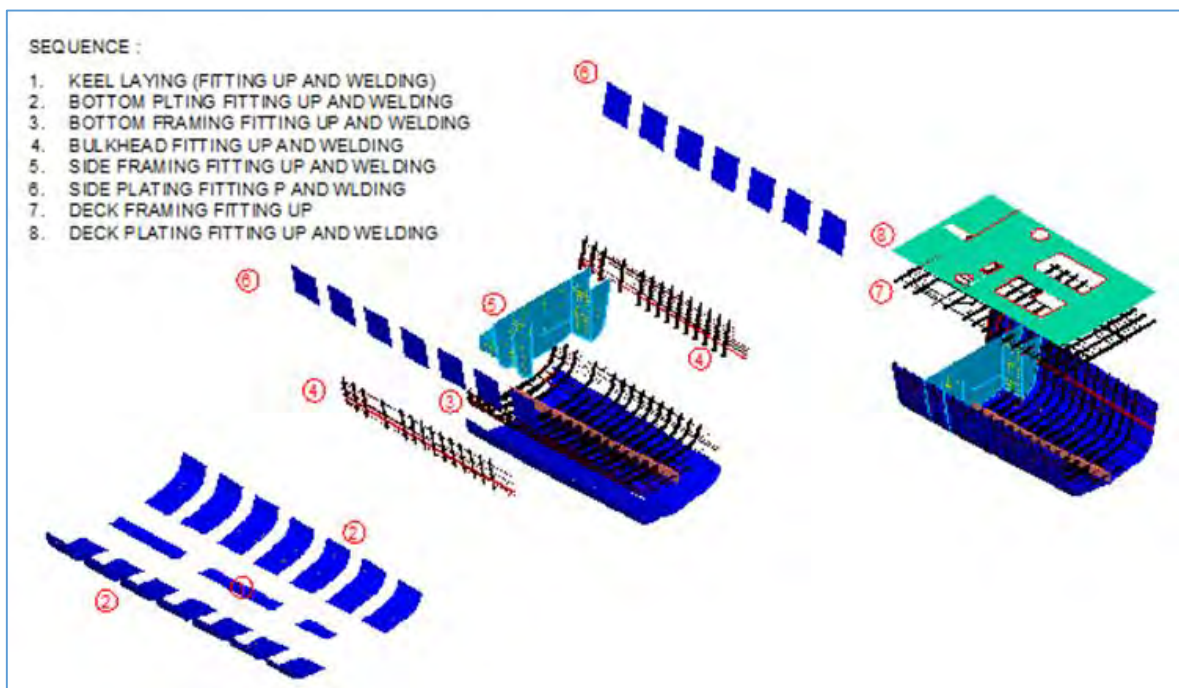
4.3.2.3 Pembangunan Kapal Dengan Metode Kerangka

Pembangunan kapal tidak hanya dilakukan dengan metode blok dan seksi, ada metode yang lebih awal dikembangkan, yaitu metode kerangka. Meskipun metode ini sekarang sudah jarang dipakai, tetapi metode ini perlu dianalisa untuk mengetahui prosesnya

jika dibandingkan dengan metode lain. Urutan pembangunan kapal patroli 60 m dengan metode keangka dapat diliha pada Gambar 4.4



Gambar 4.3 Alur penggabungan blok badan kapal di *building berth*



Gambar 4.4 pembangunan kapal dengan metode kerangka

4.4 Data Beban Pekerjaan

Pekerjaan yang yang ditinjau adalah pekerjaan pengelasan dengan parameter panjang las (lihat lampiran 12).

Berdasarkan beban pekerjaan las dan posisi pengelasannya, kebutuhan JO pada tiap tahap produksi dapat dihitung sebagai berikut.

Tabel 4.4 Beban pengelasan blok 2

BLOK 2	panjang (m)			JO		
posisi	<i>subassembly</i>	<i>assembly</i>	joining	<i>subassembly</i>	<i>assembly</i>	joining
downhand	270,16	534,84	18,84	64,12	126,94	4,47
horizontal		2480,20	0,00	0,00	658,91	0,00
vertikal		262,65	24,60	0,00	233,19	21,84
<i>overhead</i>		280,04	21,84	0,00	201,95	15,75
			Total (JO)	64,12	1220,98	42,06
			JO efisien (120%)	76,94	1465,18	50,47

Tabel 4.5 Beban pekerjaan seksi

SEKSI	panjang (m)			JO		
posisi	<i>subassembly</i>	<i>assembly</i>	joining	<i>subassembly</i>	<i>assembly</i>	joining
downhand	270,16	505,84	47,84	64,12	120,05	11,35
horizontal		2385,16	95,04	0,00	633,66	25,25
vertikal		208,09	79,16	0,00	184,75	70,28
<i>overhead</i>		218,53	83,35	0,00	157,59	60,11
			Total (JO)	64,12	1096,06	166,98
			JO efisien (120%)	76,94	1315,27	200,38

Tabel 4.6 Beban pengelasan kapal patroli 60 m

			Berat Blok (ton)	20,72	Berat Kapal (ton)	83,75
			Beban Pekerjaan (JO)		Produktifitas (JO/ton)	
Langkah Produksi	Blok	Seksi	Blok	Seksi	Blok	Seksi
<i>subassembly</i>	76,94	76,94	3,71	3,71	311,05	311,05
<i>assembly</i>	1465,18	1315,27	70,72	63,49	5923,12	5317,10
<i>blok/section joining</i>	50,47	200,38	2,44	9,67	204,04	810,06

4.5 Data Kebutuhan Ekonomis

Pembangunan kapal menggunakan metode blok sangat dipengaruhi oleh kapasitas *crane* yang ada. Untuk *crane* yang didapat dengan cara menyewa, perlu diketahui perbandingan harga sewanya dan kapasitasnya. Pada umumnya *crane* dengan kapasitas lebih kecil relatif mahal jika dibandingkan dengan *crane* yang kapasitasnya lebih besar.

Untuk kapal patrol 60 m konstruksi memanjang ini, kapasitas *crane* yang paling ekonomis adalah 25 ton. Dengan harga sewa perharinya Rp 6.500.000,00. Dengan SWL 90 %, badan kapal dapat dibagi menjadi 4 bagian. Sehingga biaya total untuk penyewaan *crane* adalah Rp 26.000.000,00

4.5.1 Daftar Harga Sewa Crane

Harga sewa dan beberapa *crane* yang ada di daerah Surabaya tertera pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Harga mobile *crane*

Kapasitas (ton)	Sewa (Rp)	Jumlah blok	Total sewa
10	Rp 4.500.000,00*	11	Rp49.500.000,00
15	Rp 5.000.000,00**	7	Rp35.000.000,00
25	Rp 6.500.000,00**	4	Rp26.000.000,00
35	Rp 10.500.000,00**	3	Rp31.500.000,00

* harga berdasarkan daftar sewa PT WASTA GUNA MEGATAMA Surabaya

** harga berdasarkan daftar sewa PT HAKA SURYA GRATAMA Surabaya

4.5.2 Kebutuhan Material Langsung

Untuk membangun kapal, material utama yang dibutuhkan adalah pelat baja dan elektrode. Data kebutuhan pelat dan elektrode untuk membangun kapal patroli 60 m konstruksi memanjang tertera pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Daftar kebutuhan material pelat

t	Berat (Ton)	Margin 5%	Harga (Rp/Ton)	Total
4	54,774	57,512	12.510.000,00	719.480.647,23
5	2,894	3,039	12.510.000,00	38.013.289,94
6	12,825	13,467	12.510.000,00	168.466.864,32
8	5,537	5,814	12.510.000,00	72.731.533,94
10	7,722	8,108	12.510.000,00	101.427.463,14
total	83,752	87,939		1.100.119.798,58

Tabel 4.9 Daftar kebutuhan elektrode las

	FCAW (<i>self shield</i>)
Volume las (mm3)	94887964,25
Massa jenis (kg/mm3)	0,00000785
Berat (kg)	744,871

Berat konstruksi (ton)	20,717
Berat konstruksi (kg)	20717,311

Persentase berat elektrode (%)	3,595
---------------------------------------	-------

Efisiensi kawat las	0,780
Kebutuhan kawat las (kg)	954,962
Kebutuhan+margin 20% (kg)	1146

Persentase (%)	5,531
-----------------------	-------

Berat kapal total (kg)	83751,650
Berat elektrode total (kg)	4632,628
Berat elektrode total (ton)	4,633

Harga elektrode (Rp/kg)	20000
Biaya elektrode (Rp)	2.652.556,69

Total (Rp)	92.652.556,69
-------------------	----------------------

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Proses Produksi

Proses produksi lambung kapal dimulai dari pembentukan part-part konstruksi hingga lambung kapal terbentuk. Berdasarkan metode pembangunan kapal dengan metode blok, seksi dan kerangka, perbandingan proses pembangunannya dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 perbandingan produksi kapal dengan metode blok, seksi dan kerangka

metode yang mungkin	urutan pembangunan	penerapan pd konstruksi memanjang	Bengkel fabrikasi	fasilitas			
				bengkel sub-assembly	assembly area	building berth	crane
kerangka	lihat lampiran 8	X	O	O	X	O	X
seksi	lihat lampiran 7, 9, 10	O	O	O	O	O	3-5 ton
blok	lihat lampiran 6, 9, 10, 11	O	O	O	O	O	10-35 ton

Metode kerangka tidak disarankan untuk diterapkan pada pembangunan kapal dengan konstruksi memanjang, hal ini dikarenakan penumpu melintang pada konstruksi memanjang ukurannya terlalu kecil sehingga tidak dapat menyangga konstruksi lain.

Metode blok dan seksi proses dan kebutuhan fasilitasnya hampir sama. Hanya saja kebutuhan alat angkat yang berbeda. Metode seksi membutuhkan *crane* dengan kapasitas 3-5 ton, sedangkan metode blok membutuhkan *crane* dengan kapasitas antara 10-35 ton.

Urutan proses dari bengkel *subassembly* hingga *joining* di *building berth*, untuk metode seksi dan blok dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Proses produksi di bengkel-bengkel produksi

Langkah produksi	Metode	
	Blok	Seksi
<i>subassembly</i>	O	O
<i>panel/section assembly</i>	O	O
<i>block assembly</i>	O	X
<i>blok/section joining</i>	O	O

Dari Tabel 5.2, dapat dilihat bahwa metode seksi tidak melewati proses penggabungan blok, tetapi seksi-seksi langsung digabungkan di *building berth*.

5.1.1 Analisa Proses Fabrikasi

Proses fabrikasi dibagi menjadi dua, yaitu *cutting* dan *forming*. *Cutting* dilakukan menggunakan *mechanical cutting*, *gas cutting*, dan *NC cutting*. Proses *forming* dilakukan dengan mekanis menggunakan mesin *bending* dan *roller* kemudian disempurnakan menggunakan *line heating*.

Cutting untuk komponen kapal patroli 60 m konstruksi memanjang lebih singkat karena sebagian besar penegar berupa pembujur *flat bar* yang bentuknya homogen. Untuk bentuk-bentuk yang mengikuti kelengkungan kapal seperti pelintang, jumlahnya relatif sedikit sehingga tidak banyak memakan waktu. *Forming* untuk penegar juga relatif sedikit, karena *flat bar* mudah untuk dibengkokkan sesuai dengan kelengkungan memanjang kapal. Sehingga hanya perlu menggunakan peralatan seadanya pada saat *fit up*.

5.1.2 Analisa Proses Subassembly

Pada tahap *subassembly*, dilakukan pengelasan pelat hadap dan pelat bilah. Semua balok konstruksi terdiri dari gabungan pelat bilah dan pelat hadap, kecuali untuk pembujur yang merupakan *flat bar*.

Proses *subassembly* lebih sedikit dibandingkan dengan kapal konstruksi melintang karena sebagian besar penegar berupa *flat bar*.

5.1.3 Analisa Proses Assembly

Ada tiga macam metode *assembly*. Pemilihan metode didasarkan pada bentuk lambung yang akan dibuat dan ketersediaan alat yang ada di galangan. Masing-masing metode mempunyai kelemahan dan kelebihanannya sendiri.

Metode *panel and part assembly*, bisa digunakan untuk semua tipe seksi. Metode ini disarankan jika proses pengelasan penegarannya dilakukan secara manual. *Fitting up* penegar dengan *tack welding* dapat mengurangi distorsi pengelasan.

Metode *prefitting longitudinal assembly*, disarankan untuk proses pengelasan otomatis. Proses ini diawali dengan pemasangan pembujur terlebih dahulu dan dilaskan otomatis. Dalam proses pengelasan otomatis, prosesnya dapat dikontrol sehingga distorsi pasca pengelasan dapat dihindari.

Metode *eggbox framing assembly*, tidak disarankan karena ada proses pemindahan penegaran dari *assembly floor* ke atas pelat. Hal ini dapat meningkatkan resiko deformasi pada

balok-balok konstruksi karena balok-balok konstruksi yang dipasangkan pada kapal patroli 60 m ini relatif kecil. Selain itu, proses ini juga tidak disarankan untuk diterapkan pada pembangunan panel 3D. Hal ini dikarenakan pada metode ini, dibutuhkan dua *moulding bed* untuk satu buah blok.

5.1.4 Analisa Proses *Joining*

Proses penggabungan blok di *building berth* diawali dengan pemindahan inisial blok dari *assembly area* ke *building berth*. Pemindahan dilakukan dengan terlebih dahulu memindahkan blok dari *assembly platform* ke atas *crawler* menggunakan *mobile crane*. Setelah itu blok diantarkan ke *building berth*. Di area *building berth*, blok badan kapal dibalik menggunakan bantuan *crane* kemudian diletakkan pada posisinya di atas *keel block*.

Dua buah blok yang akan digabungkan harus diperiksa posisinya terlebih dahulu untuk menjamin kelurusan antara blok yang satu dengan yang lain. Kelurusan dapat ditinjau dari kelurusan pada *base line*, *centerline*, garis horizontal (rata-rata air) dan kelurusan pada setengah lebar kapal menggunakan bandul.

Ketidaklurusan blok sering kali terjadi karena adanya deformasi setelah proses pengelasan. Maka dari itu, setelah dilakukan pengelasan, perlu dilakukan pengecekan deformasi. Jika ada deformasi, maka harus dilakukan *fairing* menggunakan metode yang sesuai. Misalnya dengan *line heating*.

Proses penggabungan blok dilakukan di *building berth* dan proses pemebentukan *block* dilakukan di *assembly area*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu moda transportasi untuk memindahkan blok dari *assembly area* ke *building berth*. Moda transportasi yang biasa digunakan adalah *crawler*. Untuk memindahkan blok dibutuhkan alat angkat berupa *crane*. Berat blok yang dipindahkan disesuaikan dengan kapasitas *crane* yang disediakan galangan. Jika galangan tidak memiliki *crane* sendiri, maka bisa dilakukan penyewaan.

Pada proses penggabungan dua buah blok dapat terjadi ketidaklurusan dan celah antara dua buah blok. Hal ini bisa disebabkan oleh proses produksi sebelumnya yang tidak memenuhi standar akurasi. Oleh karena itu, sebelum blok badan kapal dipindahkan ke *building berth*, harus dilakukan pengukuran dimensi kapal secara seksama. Pengukuran yang perlu dilakukan antara lain pengukuran dimensi panjang, lebar dan tinggi, pengukuran kulurusan garis *center line*, pengukuran garis *base line* dan pengukuran kerataan geladak.

Pada proses *joining*, ada tiga macam metode yang ditinjau yaitu metode kerangka, metode seksi dan metode *block*.

Pada metode kerangka, kapal seluruhnya dibangun di *building berth* mulai dari pelat dan profil hingga menjadi badan kapal utuh. Proses ini memakan waktu yang lama karena pekerjaan tidak dapat dilakukan dengan paralel. Hal ini sangat merugikan karena dapat menurunkan produktifitas galangan dengan drastis. Hal inilah yang menyebabkan metode kerangka jarang diaplikasikan untuk pembangunan kapal-kapal baja.

Selain karena prosesnya yang memakan waktu, metode kerangka juga tidak efisien, karena dibutuhkan upaya untuk menegakkan gading-gading satu-persatu. Jumlah gading ini sangat banyak, dan dimensinya relatif kecil, sehingga tidak dapat menunjang konstruksi yang lain.

Pada pembangunan kapal menggunakan metode seksi, kapal dibangun di *building berth* dari seksi-seksi yang sebelumnya diassembly di *assembly area*. Proses *section joining* berlangsung lebih cepat dari pada proses pembangunan dengan metode kerangka. Metode seksi tidak membutuhkan kapasitas *crane* yang besar. *Crane* 5 ton cukup untuk membangun kapal patroli 60 m. dengan kapasitas *crane* 5 ton, seksi dapat dibagi menjadi 26 buah sebagaimana yang tertulis pada Tabel 4.2.

Kelemahan metode seksi adalah proses penggabungannya dari seksi, prosesnya menjadi lama, karena harus ada tahap pengecekan kelurusan di *building berth* pada saat memasang tiap-tiap seksi. Selain itu, juga perlu dilakukan pengecekan setelah dilakukan pengelasan, untuk menghindari terjadinya distorsi pengelasan.

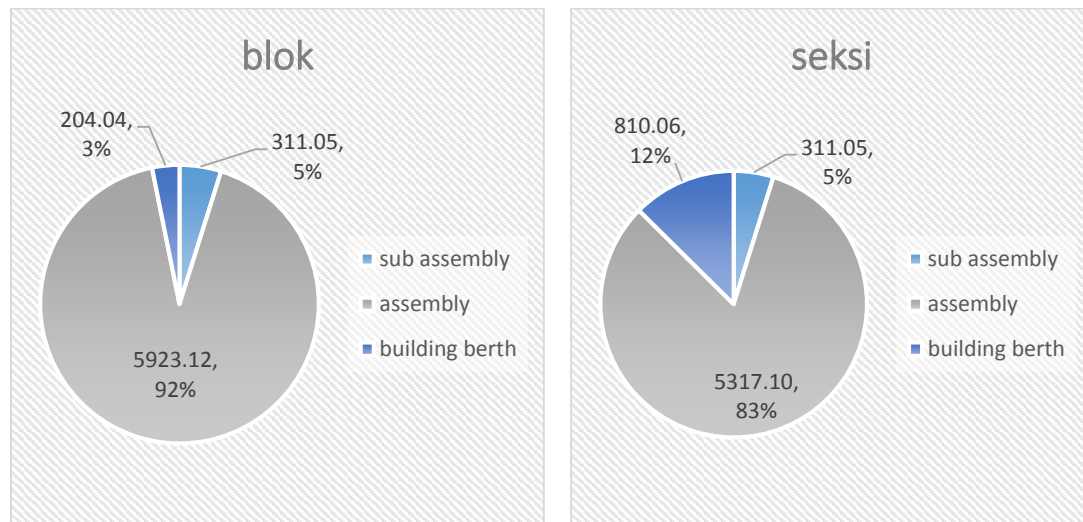
Pada proses pembangunan kapal dengan metode blok, proses penggabungan di *building berth* relatif lebih cepat. Karena jumlah *item* yang digabungkan lebih sedikit. Jumlah blok tergantung pada kapasitas *crane* yang ada. Pemilihan *crane* tergantung pada fasilitas yang ada di galangan. Namun jika galangan kapal tidak memiliki *crane* yang memadai dan memilih untuk menyewa, maka disarankan untuk menyewa *crane* dengan kapasitas 25 ton, karena perbandingan nilai sewanya yang relatif murah. Dengan kapasitas *crane* 25 ton, maka lambung kapal patroli 60 m dapat dibagi menjadi 4 blok dengan berat blok seperti pada Tabel 4.3.

5.2 Analisa Beban Pekerjaan

Dalam proses pembangunan kapal, proses pengelasan dan fitting up adalah proses yang paling memakan waktu. Oleh karena itu, dalam memilih metode pembangunan kapal, perlu ditinjau bagaimana proses ini berlangsung.

Dari Tabel 4-6, dapat diketahui beban pekerjaan pengelasan untuk metode blok dan seksi. Dimana proses blok dan seksi membutuhkan JO yang sama, hal ini karena alur pembangunan kapal dengan metode blok sama dengan pada metode seksi. Yang berbeda hanya beban

pekerjaan pada tahap *assembly* dan *joining*. Perbandingan JO pada tiap tahapan dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Perbandingan kebutuhan JO pengelasan pada tiap bengkel untuk metode blok dan seksi

Pada pembangunan dengan metode blok, pekerjaan pengelasan pada proses *assembly* memakan 5923,12 JO atau 92% dari total kebutuhan JO. Untuk pembangunan kapal dengan metode seksi, pada tahap *assembly* membutuhkan tenaga pengelas 5317,1 JO atau 83 % dari kebutuhan JO pengelasan total.

Untuk pengelasan pada tahapan *joining*, dengan metode blok dibutuhkan 204,04 JO atau 3% dari kebutuhan JO pengelasan total dan dengan metode seksi dibutuhkan 810,06 JO atau 12% dari kebutuhan JO pengelasan total.

5.3 Analisa Ekonomis

Dalam proses pembangunan kapal, biaya produksi memegang peranan penting untuk menilai apakah proses pembangunan kapal yang diterapkan baik atau tidak. Biaya produksi yang ditinjau di sini adalah biaya produksi yang mempengaruhi nilai jual kapal. Biaya yang ditinjau antara lain biaya peralatan produksi dan biaya material langsung.

Yang termasuk dalam biaya peralatan produksi adalah biaya untuk menyewa *crane* sebagai sarana untuk memindahkan blok dan seksi. Dari Tabel 4.7 dapat diketahui biaya sewa *crane* sesuai dengan kapasitasnya. Kapasitas *crane* berbanding terbalik dengan jumlah blok. Namun, harga sewa *crane* tidak berbanding lurus. Saat lambung kapal dibagi berdasarkan kapasitas *crane* 10 ton, maka jumlah blok menjadi 11 blok. Dengan asumsi bahwa proses pemindahan satu buah blok berlangsung satu hari, maka dengan sewa Rp 4,5 juta perhari, kebutuhan biaya sewa total menjadi Rp 49,5 juta. Harga ini berbeda jauh dengan jika galangan

menyewa *crane* dengan kapasitas 25 ton yang hanya membutuhkan sewa 4 kali dengan total biaya sewa Rp 26 juta.

Biaya produksi lain yang ditinjau adalah biaya material langsung. Material langsung yang ditinjau disini adalah material lambung berupa pelat dan alektrode las. Spesifikasi material yang dibutuhkan tidak terlalu bervariasi. Material lambung terdiri dari pelat dengan ketebalan 4, 5, 6, 8 dan 10 mm. Profil konstruksi yang didominasi oleh *flat* bar membuat penggunaan pelat menjadi maksimal, dan tidak perlu membeli profil L. Jumlah material yang dibutuhkan dalam membangun kapal patroli 60 m konstruksi memanjang dapat dilihat pada tabel Tabel 4.8 dengan total biaya Rp 1,100,119,798.58

Untuk proses pengelasan diasumsikan bahwa proses pengelasan menggunakan metode FCAW (*self shielded*). Metode ini dipilih karena prosesnya yang cepat dan kualitasnya yang baik untuk mengelas baja tegangan tinggi. Kebutuhan biaya untuk elektrode las adalah Rp 92,652,556.69

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa:

- Beberapa instansi membangun dan mengoperasikan kapal patroli 60 m, seperti KKP, KPLP, Bea cukai, TNI-AL dan Kepolisian Air dan Udara. Sebelumnya kapal-kapal ini dibangun dengan konstruksi melintang, namun saat ini ada beberapa kapal yang dibangun dengan konstruksi memanjang. Produksi kapal patroli 60 m konstruksi memanjang kemungkinan membutuhkan material pelat dengan berat 87,94 ton dan elektrode FCAW dengan berat 4,633 ton.
- Setelah dilakukan review untuk membangun kapal patroli 60 m konstruksi memanjang menggunakan metode blok, seksi dan kerangka, metode yang bisa diterapkan untuk pembangunan kapal patroli 60 m konstruksi memanjang adalah metode blok dan seksi. Dalam penerapannya, metode blok membutuhkan *crane* dengan kapasitas 25 ton dan metode seksi membutuhkan *crane* dengan kapasitas 5 ton. Metode produksi yang disarankan adalah metode blok karena pengelasan proses *assembly* dapat dimaksimalkan hingga 91% sedangkan metode seksi hanya sampai pada angka 83%.
- Implikasi ekonomis dari penggunaan konstruksi memanjang antara lain: biaya pembelian material pelat adalah Rp 1.100.119.798,58 dan elektrode FCAW Rp Rp 92.652.556,69. Penggunaan metode blok memerlukan tambahan biaya sewa *crane* berkapasitas 25 ton senilai Rp 26.000.000,00

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian produksi kapal patroli 60 m yang telah dilakukan, dapat diberikan saran sebagai berikut:

- Galangan kapal dapat menghitung kebutuhan material pelat dan elektrode yang dibutuhkan untuk membangun kapal patroli konstruksi memanjang.
- Galangan kapal dapat menghitung kebutuhan JO untuk pekerjaan pengelasan pada pembangunan kapal patroli konstruksi memanjang.

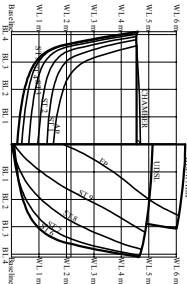
- Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan membandingkan antara kapal patroli yang dibangun dengan konstruksi melintang dan kapal patroli yang dibangun dengan konstruksi memanjang.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa:

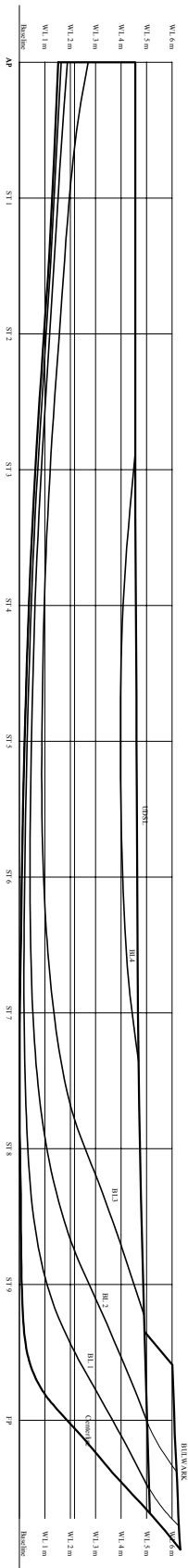
- Beberapa instansi membangun dan mengoperasikan kapal patroli 60 m, seperti KKP, KPLP, Bea cukai, TNI-AL dan Kepolisian Air dan Udara. Sebelumnya kapal-kapal ini dibangun dengan konstruksi melintang, namun saat ini ada beberapa kapal yang dibangun dengan konstruksi memanjang. Produksi kapal patroli 60 m konstruksi memanjang kemungkinan membutuhkan material pelat dengan berat 87,94 ton dan elektrode FCAW dengan berat 4,633 ton.
- Setelah dilakukan review untuk membangun kapal patroli 60 m konstruksi memanjang menggunakan metode blok, seksi dan kerangka, metode yang bisa diterapkan untuk pembangunan kapal patroli 60 m konstruksi memanjang adalah metode blok dan seksi. Dalam penerapannya, metode blok membutuhkan *crane* dengan kapasitas 25 ton dan metode seksi membutuhkan *crane* dengan kapasitas 5 ton. Metode produksi yang disarankan adalah metode blok karena pengelasan proses *assembly* dapat dimaksimalkan hingga 91% sedangkan metode seksi hanya sampai pada angka 83%.
- Implikasi ekonomis dari penggunaan konstruksi memanjang antara lain: biaya pembelian material pelat adalah Rp 1.100.119.798,58 dan elektrode FCAW Rp Rp 92.652.556,69. Penggunaan metode blok memerlukan tambahan biaya sewa *crane* berkapasitas 25 ton senilai Rp 26.000.000,00

Station	Baseline	WL 1 m	WL 2 m	WL 3 m	WL 4 m	WL 5 m	UDSL
AP	0	0	2.304	3.154	3.447		3.585
1	0	0	3.024	3.450	3.705		3.808
2	0	0.423	3.367	3.655	3.834		3.925
3	0	2.531	3.536	3.742	3.925		4.010
4	0	3.034	3.621	3.812	3.988		4.078
5	0	3.143	3.643	3.834	4.004		4.100
6	0	3.048	3.581	3.811	3.993		4.092
7	0	2.677	3.370	3.695	3.918		4.047
8	0	1.920	2.700	3.194	3.598		3.820
9	0	0.928	1.612	2.128	2.680		3.200
FP	0	0	0.050	0.550	1.216	2.005	2.019

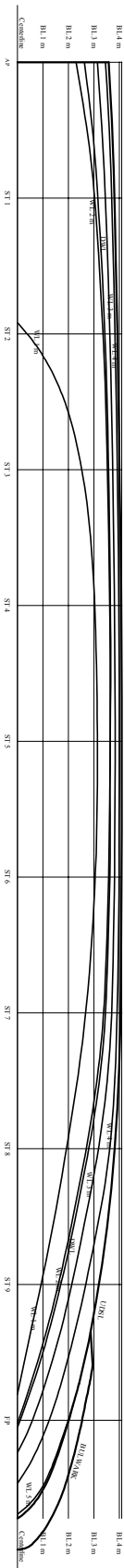


Station	Centerline	BL 1 m	BL 2 m	BL 3 m	BL 4 m	UDSL
AP	1.527	1.647	1.883	2.648		5.020
1	1.290	1.563	1.518	1.976		4.565
2	0.958	1.057	1.193	1.597		4.739
3	0.659	0.722	0.869	1.214	4.490	4.665
4	0.374	0.466	0.618	0.979	4.079	4.630
5	0.206	0.304	0.474	0.885	3.962	4.606
6	0.097	0.208	0.415	0.950	4.043	4.550
7	0.017	0.184	0.527	1.354	4.420	4.550
8	0.022	0.323	1.079	2.576	3.598	4.550
9	0.099	1.091	2.749	4.526		4.550
FP	1.882	3.699	4.993			4.550

SHEER PLAN



HALF-BREADTH PLAN



60m PATROL SHIP PARTICULARS	
LENGTH OVERALL	60 m
LENGTH WATERLINE	53.39 m
BEAM MOULDED	8.20 m
BEAM WATERLINE	7.49 m
DRAFT MOULDED	4.55 m
DRAFT EXTREME	2.17 m
FUEL CAPACITY	2 x 2580 KW
POWER	3000 L
CREW	24 PERSONS
DEFINERS	12 PERSONS
MAXIMUM SPEED	24 KNOTS



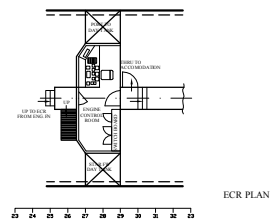
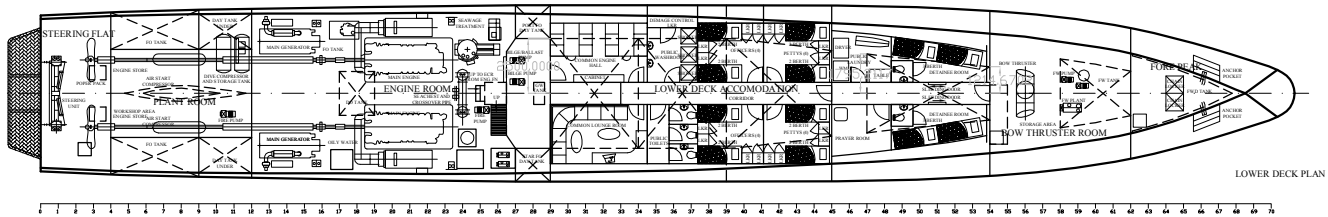
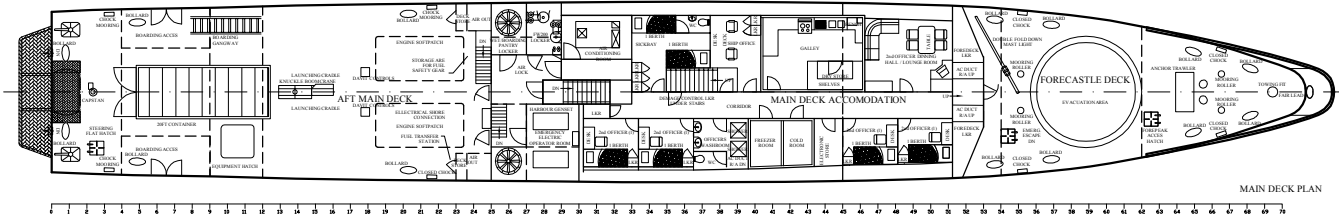
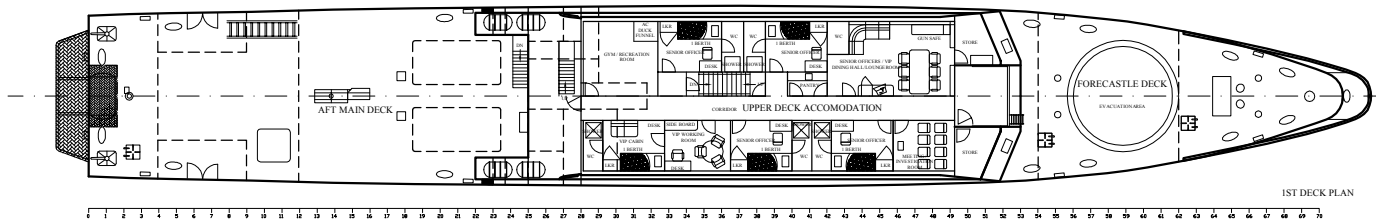
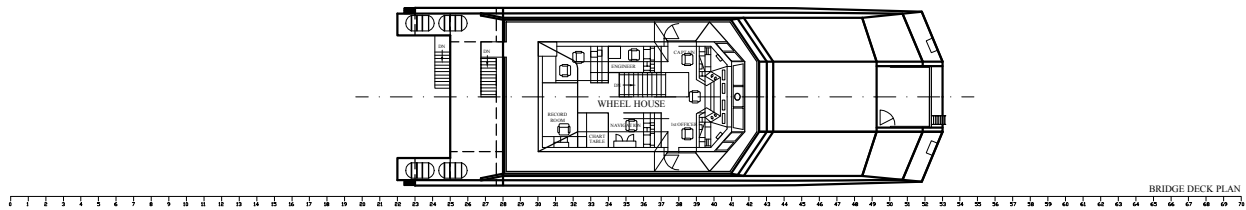
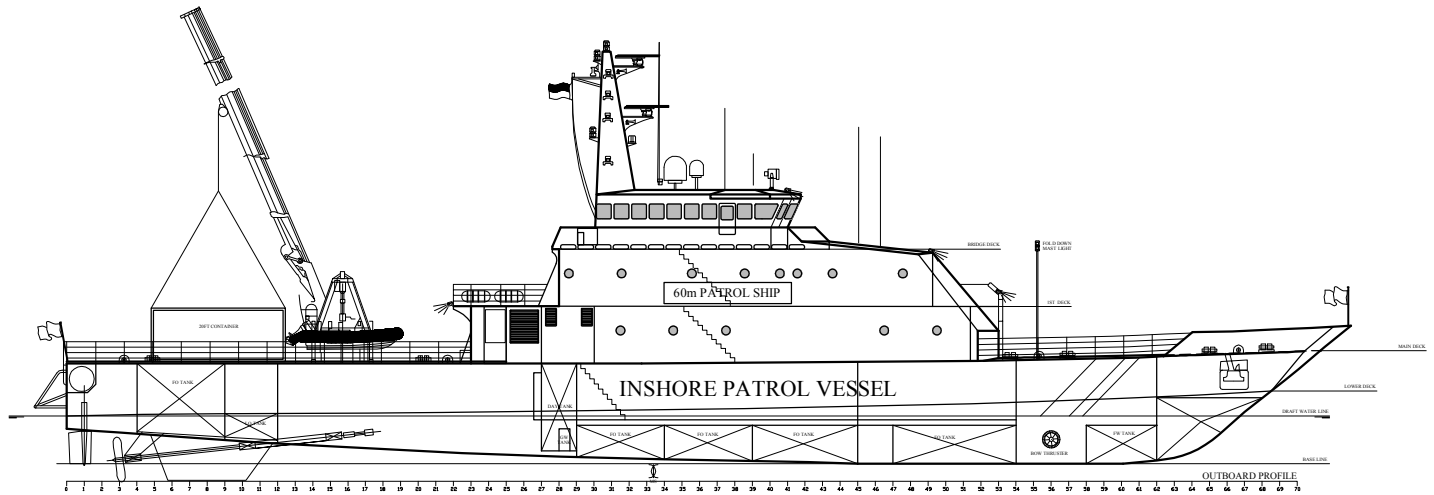
SEPULUH NOPEMBER
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING - FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

60m PATROL SHIP

LINES PLAN

DRN	: UMARATUS SALSABILA	DATE	: 21-09-2015	N
CHKD	: JE. TRIWILASWANDIO W. P., MSc	UNIT	: mm	/
	IMAM BAHQOL. ST. MT	SCALE	: 1:100	N



60 m PATROL SHIP PARTICULARS

LENGTH OVERALL	60 m
LENGTH WATERLINE	53.39 m
BEAM MOULDED	8.20 m
BEAM WATERLINE	7.49 m
DRAFT MOULDED	4.55 m
DRAFT EXTREME	2.17 m
FUEL CAPACITY	2 x 2560 KW
FRESH WATER CAPACITY	30000 L
CREW	24 PERSONS
VIP	1 PERSONS
DETAINERS	12 PERSONS
MAXIMUM SPEED	24 KNOTS



SEPULUH NOPEMBER
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING - FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

60m PATROL SHIP GENERAL ARRANGEMENT

DRN : UMAIRATUS SALSABILA	DATE : 11-04-2015	N _o
CHKD : Ir. TRIWILASWANDIO W.P., MSc	UNIT : mm	/

APPROVAL IS BASED UPON THE FOLLOWING PARTICULARS:					
CONDITION	DISPLACEMENT (TONNAGE)	LWL (m)	BWL (m)	MOLDED DRAFT (m)	V (KNOTS)
EXTENDED LOAD	435	53.39	7.49	2.17	21.5
STANDARD LOAD	330	53.07	7.41	1.89	24
DESIGN ACCELERATION	2.0g				
SIGNIFICANT WAVE HEIGHT	4 m				

LR CLASS NOTATION:
+100 A1 SSC PATROL MONO HSC G6 MCH

DESIGN STILL WATER BENDING MOMENT 3,680 kN.m (THOGENG), 0 kN.m (SAGGING)
DESIGN STILL WATER SHEAR FORCE 328 kN (POS.), -242 kN (NWG.)

HULL MATERIAL PROPERTIES:

STEEL PLATE : AH36 GRADE
FOR HULL PLATING, HULL DECK, LONGITUDINALS GIRDERS, TRANSVERSE FRAMES

PROFILE EXTRUSIONS: AH 36 GRADE

SUPERSTRUCTURE MATERIAL PROPERTIES:

PLATE: 5083-H1321, H116
EXTRUSION: 6062, T5/T6

FOR ALL STRUCTURE ABOVE MAIN DECK, UNLESS OTHERWISE NOTED

- NOTE:
1. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS
2. THIS DRAWING TO BE READ IN CONJUNCTION WITH RELEVANT CONSTRUCTION DRAWINGS
3. REFER TO WELDING SCHEDULE FOR WELDING DETAILS
4. REFER TO FABRICATION AND ERECTION SPECIFICATION FOR WELDING PROCEDURE NOTE
5. ASSEMBLY AND WELDING OF BEAMS PER THE FABRICATION PROCEDURE AND TOLERANCE REQUIREMENTS
6. FOR BRACKET DETAILS REFER TO RELEVANT BRACKET DRAWINGS

PARTICULARS	
LENGTH OVER ALL	60.00 m
LENGTH RULE	51.81 m
LENGTH WATERLINE	53.41 m
BEAM MOULDED	8.20 m
BEAM WATERLINE	7.89 m
DEPTH MOULDED	4.37 m
DEPTH WATERLINE	4.17 m
DRAFT SCANTLING	2.17 m



SEPULUH NOPEMBER
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

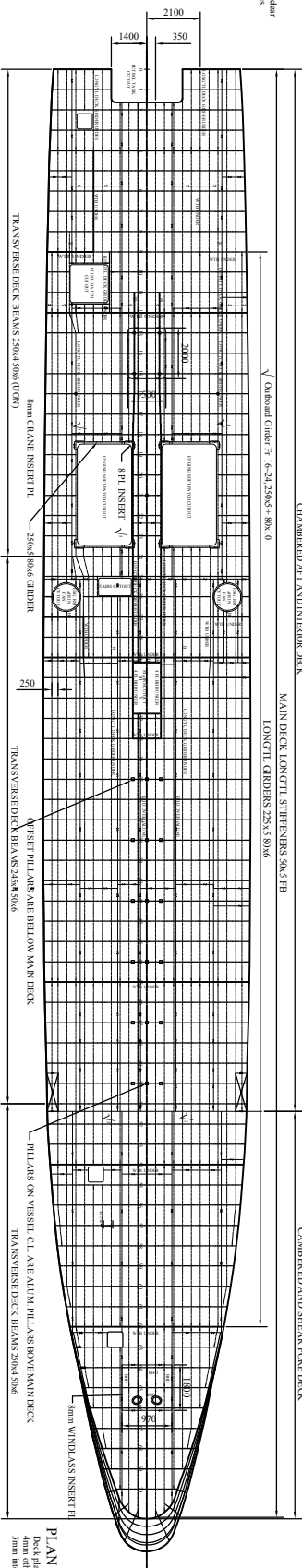
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING - FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

60m PATROL SHIP

MIDSHIP SECTION

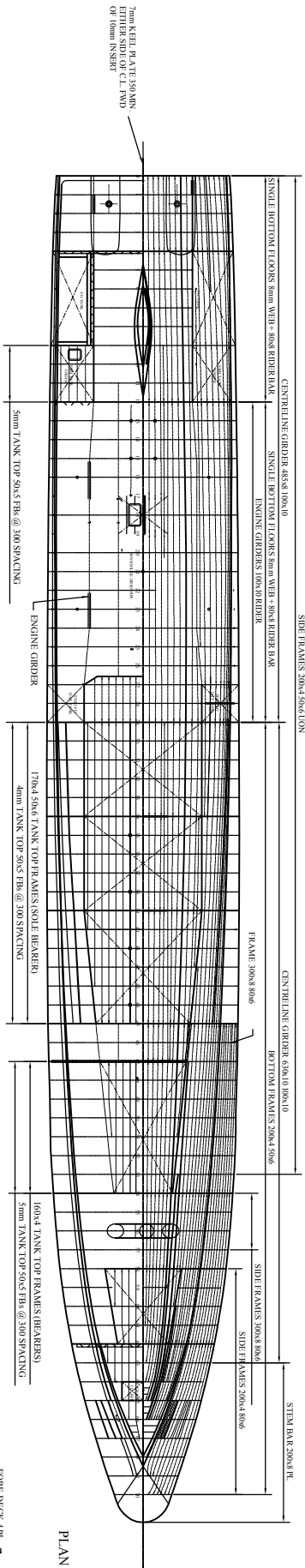
DRN	: UMAIRATUS SALSABILA	DATE	: 12-04-2015	No
CHKD	: Ir. TRIWILASWANDIO W. P., MSC IMAM BAIHAQI, ST. MT	UNIT	: mm	A
		SCALE	: 1:40	No

Inserts to extend wall clear of ends of corner angles

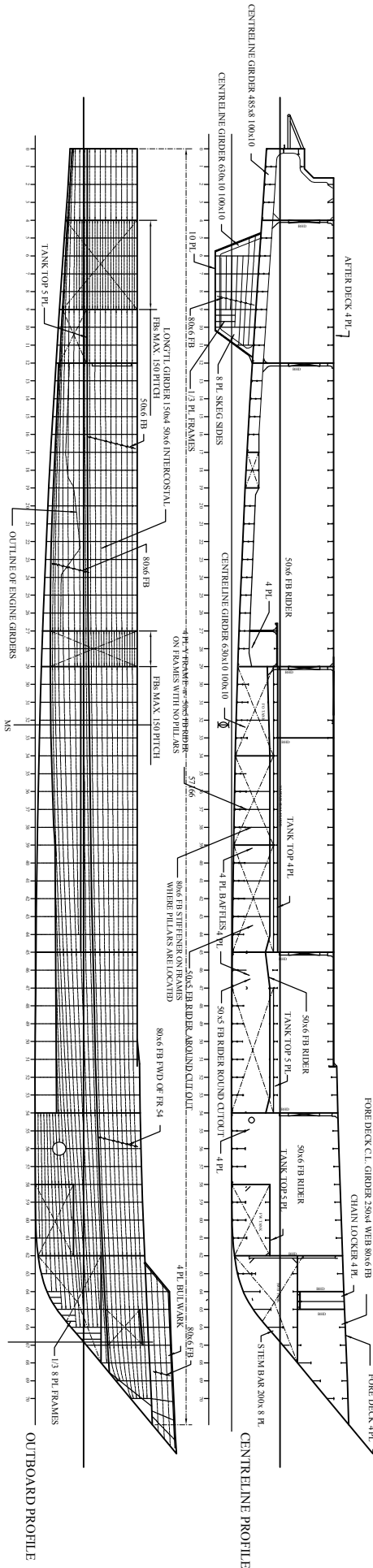


PLAN VIEW ON MAIN DECK

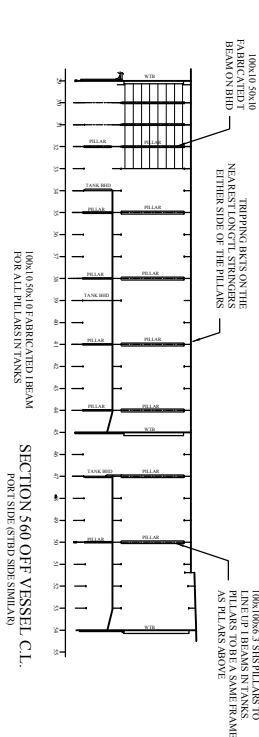
Deck plating 5mm Pl. 18x27
4mm other weather
3mm internal



PLAN ON HULL BOTTOM



OUTBOARD PROFILE



SECTION 560 OFF VESSEL C.L.

PORT SIDE (STBD SIDE SIMILAR)

- NOTE:
1. — DENOTES TERMINATION OF LONGITUDINAL AND ENDING WITH A BRACKET TO A SUPPORTING STRUCTURE.
 2. — DENOTES TERMINATION OF LONGITUDINAL AND ENDING WITH A BRACKET TO A SUPPORTING STRUCTURE.
 3. FRAMES AND GIRDERS ARE INTERLOCKING ARRANGEMENT



SEPULUH NOPEMBER
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING, FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

CONSTRUCTION PROFILE

60m PATROL SHIP

DRN : UNMAIRATUS SALSABILA	DATE : 28-08-2015	N
CHKD : E. TRIVILASWANDIO W. P., MSc	UNIT : mm	/
IMAM BAHQOL, ST. MT	SCALE : 1:100	N

- [illegible]

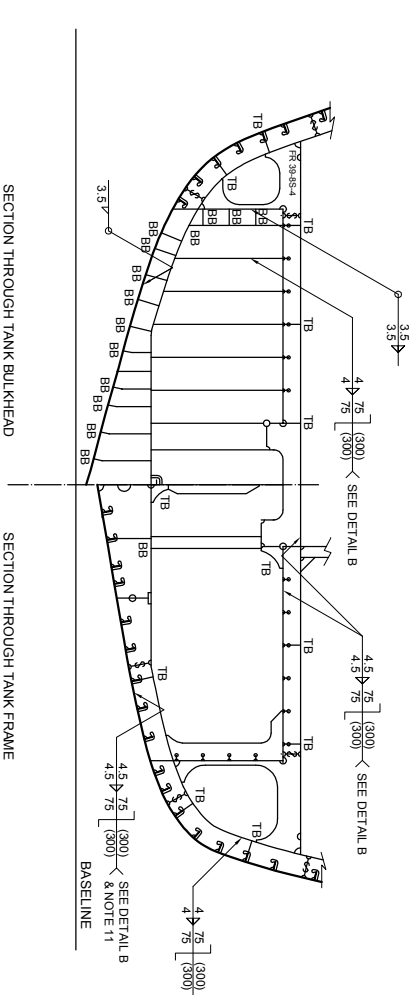
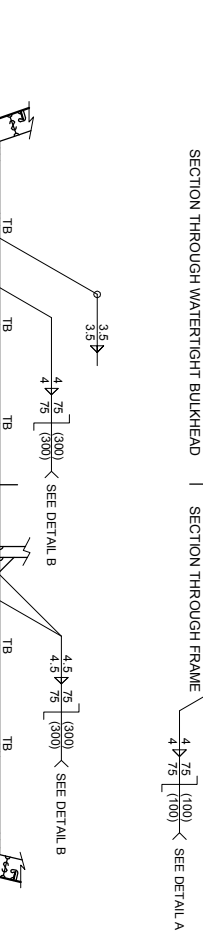
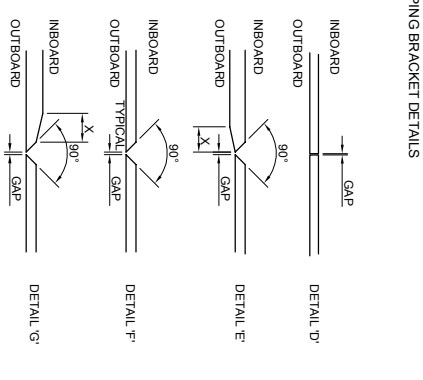
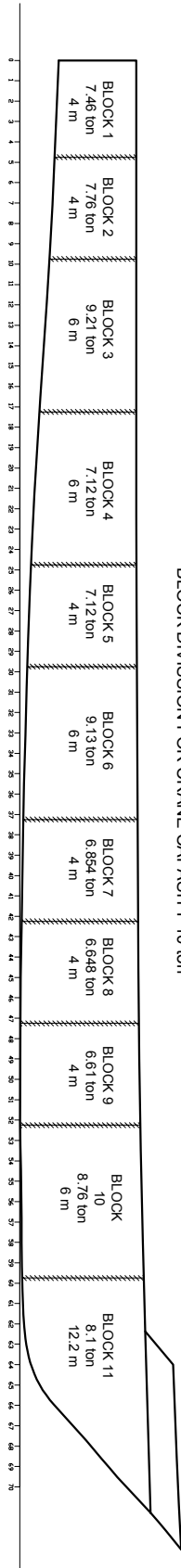
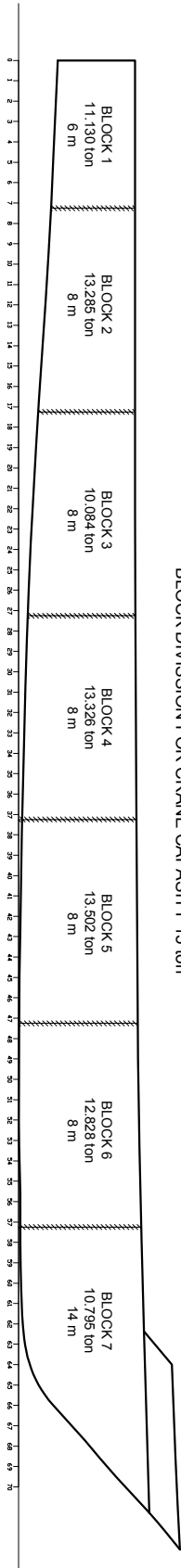
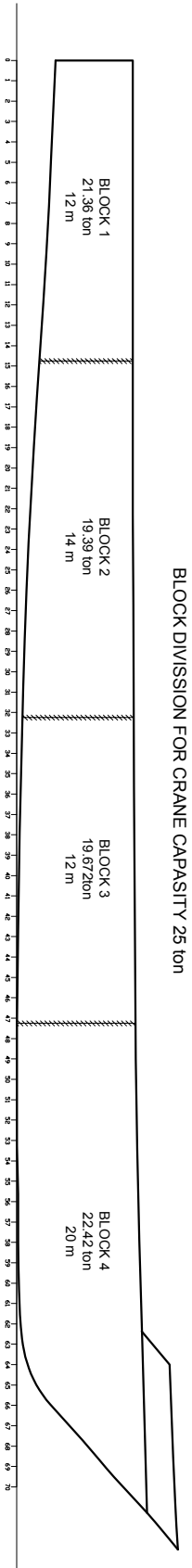
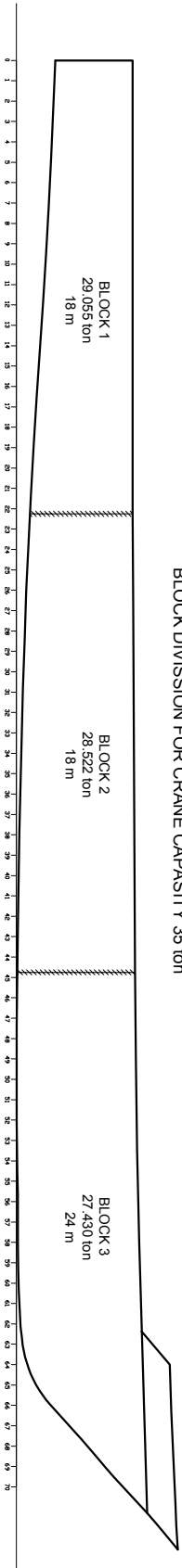


PLATE	PREP	DETAIL	BAVEL, X'	GAP	PASS	CERAMIC BACK
3 - 3	NONE-SQUARE EDGE	T ^D	NONE	2.3mm	1 PASS	YES
3 - 4	NONE-SQUARE EDGE	T ^D	NONE	2.3mm	1 PASS	YES
4 - 4	NONE-SQUARE EDGE	T ^D	NONE	2.3mm	1 PASS	YES
4 - 5	NONE-SQUARE EDGE	T ^D	NONE	2.3mm	1 PASS	YES
4 - 6	CHAMFER 45°	F ^D	NONE	1.3mm	1 PASS	YES
4 - 10	BEVEL & CHAMFER 45°	G ^D	1/4 TAPER	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES
5 - 5	NONE-SQUARE EDGE	T ^D	NONE	2.3mm	1 PASS	YES
5 - 6	NONE-SQUARE EDGE	T ^D	NONE	2.3mm	1 PASS	YES
5 - 8	CHAMFER 45°	F ^D	NONE	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES
5 - 10	BEVEL & CHAMFER 45°	F ^D	1/4 TAPER	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES
6 - 6	CHAMFER 45°	F ^D	NONE	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES
6 - 8	CHAMFER 45°	F ^D	NONE	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES
6 - 10	BEVEL & CHAMFER 45°	F ^D	1/4 TAPER	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES
8 - 8	CHAMFER 45°	T ^E	NONE	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES
8 - 10	BEVEL & CHAMFER 45°	T ^E	1/4 TAPER	1.3mm	1 ROOT 1 CAP	YES





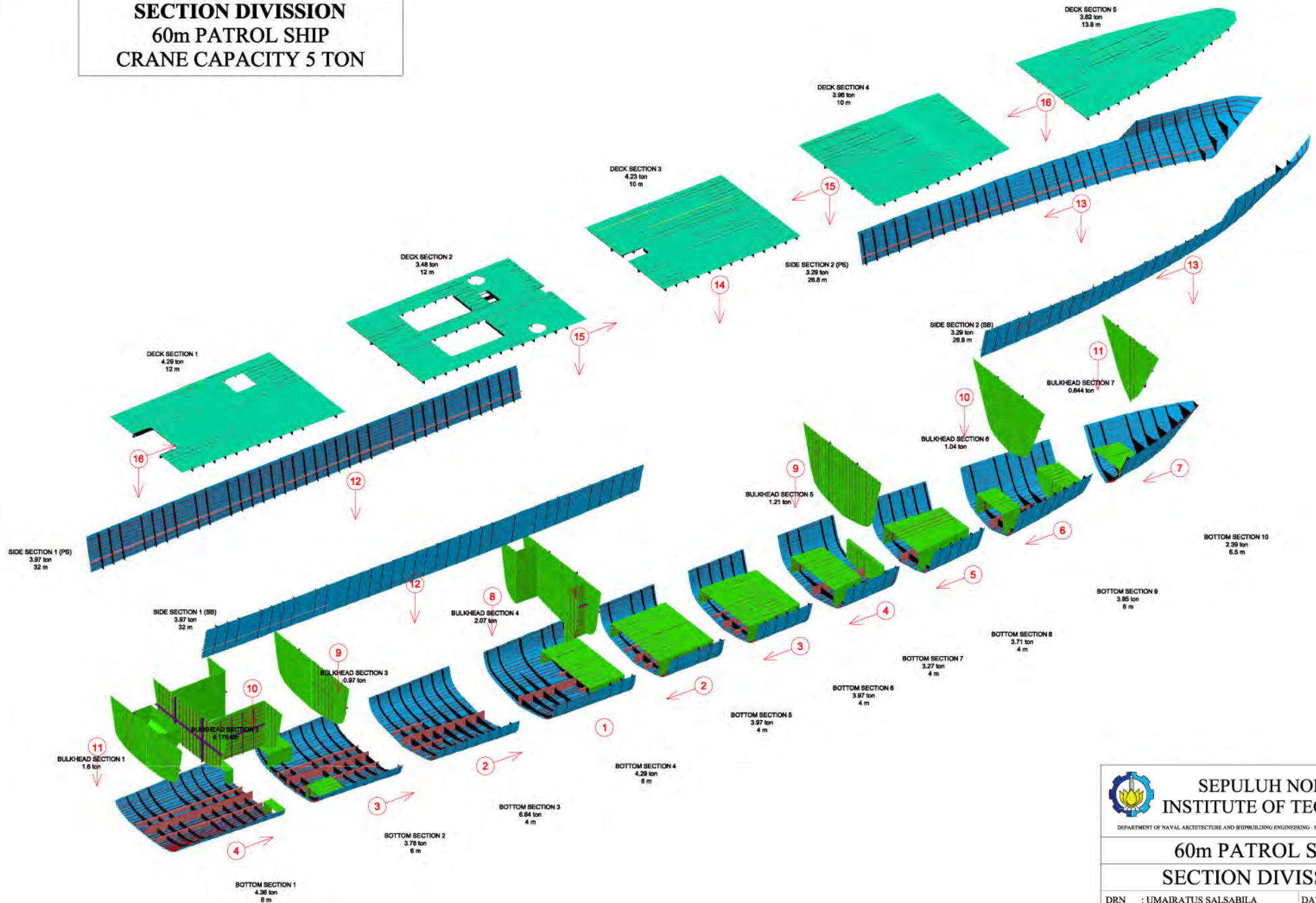
SEPULUH NOPEMBER
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING - FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

60m PATROL SHIP
BLOCK DIVISION

DRN	: UMAIRATUS SALSABILA	DATE	: 22-12-2015	N
CHKD	: JE. TRIWILASWANDIO W. P., MSc	UNIT	: mm	/
	IMAM BAHQOL ST. MT	SCALE	: 1:100	1

SECTION DIVISSION 60m PATROL SHIP CRANE CAPACITY 5 TON



SEPULUH NOPEMBER
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

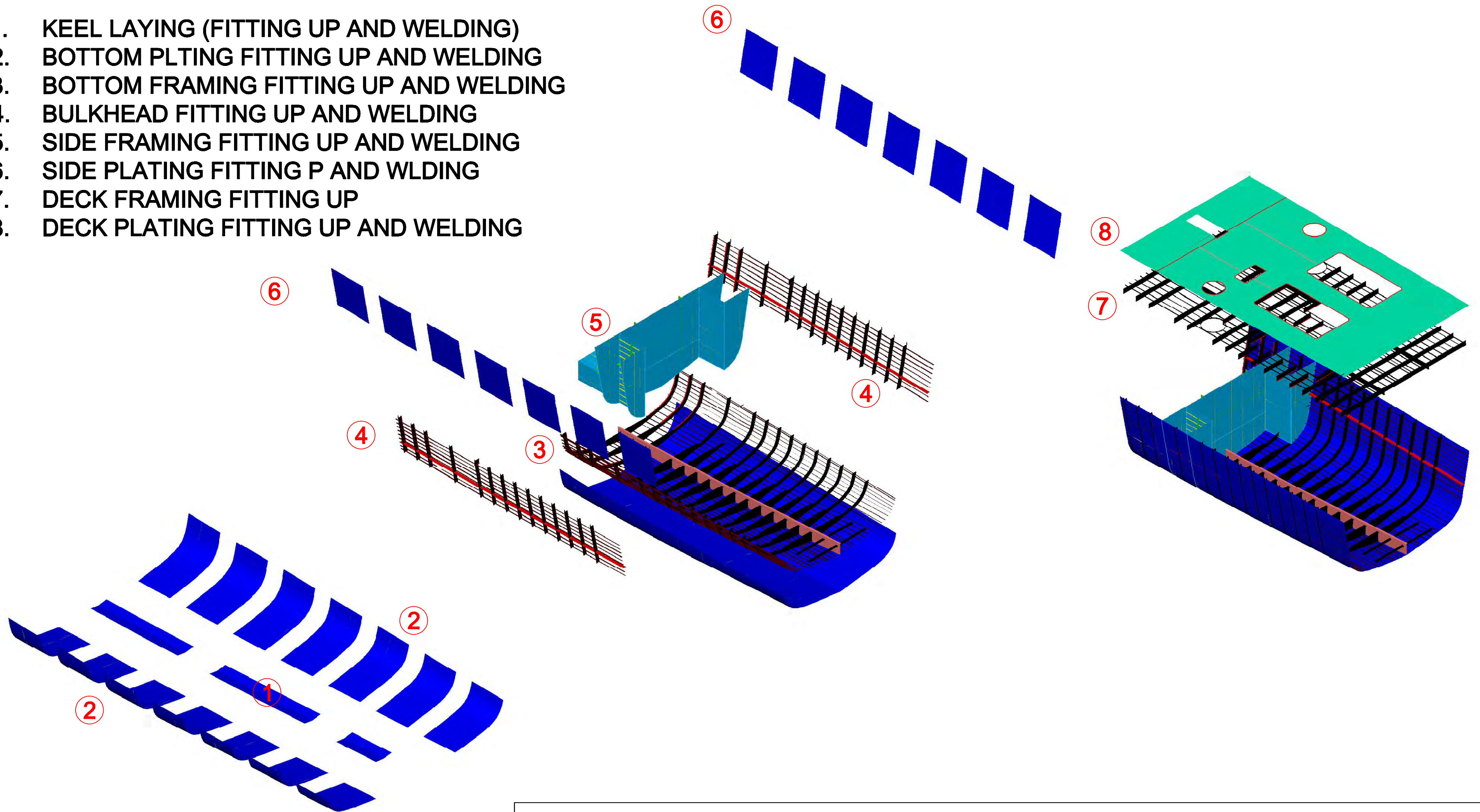
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING - FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

60m PATROL SHIP SECTION DIVISSION

DRN : UMAIRATUS SALSABILA	DATE : 23-12-2015	Note:
CHKD : Ir. TRIWILASWANDIO W. P., MSc IMAM BAIHAQI, ST, MT	UNIT : -	A1
	SCALE : -	No.

SEQUENCE :

1. KEEL LAYING (FITTING UP AND WELDING)
2. BOTTOM PLTING FITTING UP AND WELDING
3. BOTTOM FRAMING FITTING UP AND WELDING
4. BULKHEAD FITTING UP AND WELDING
5. SIDE FRAMING FITTING UP AND WELDING
6. SIDE PLATING FITTING P AND WLDING
7. DECK FRAMING FITTING UP
8. DECK PLATING FITTING UP AND WELDING



FRAME ERECTION

SKELETON BUILDING METHODE

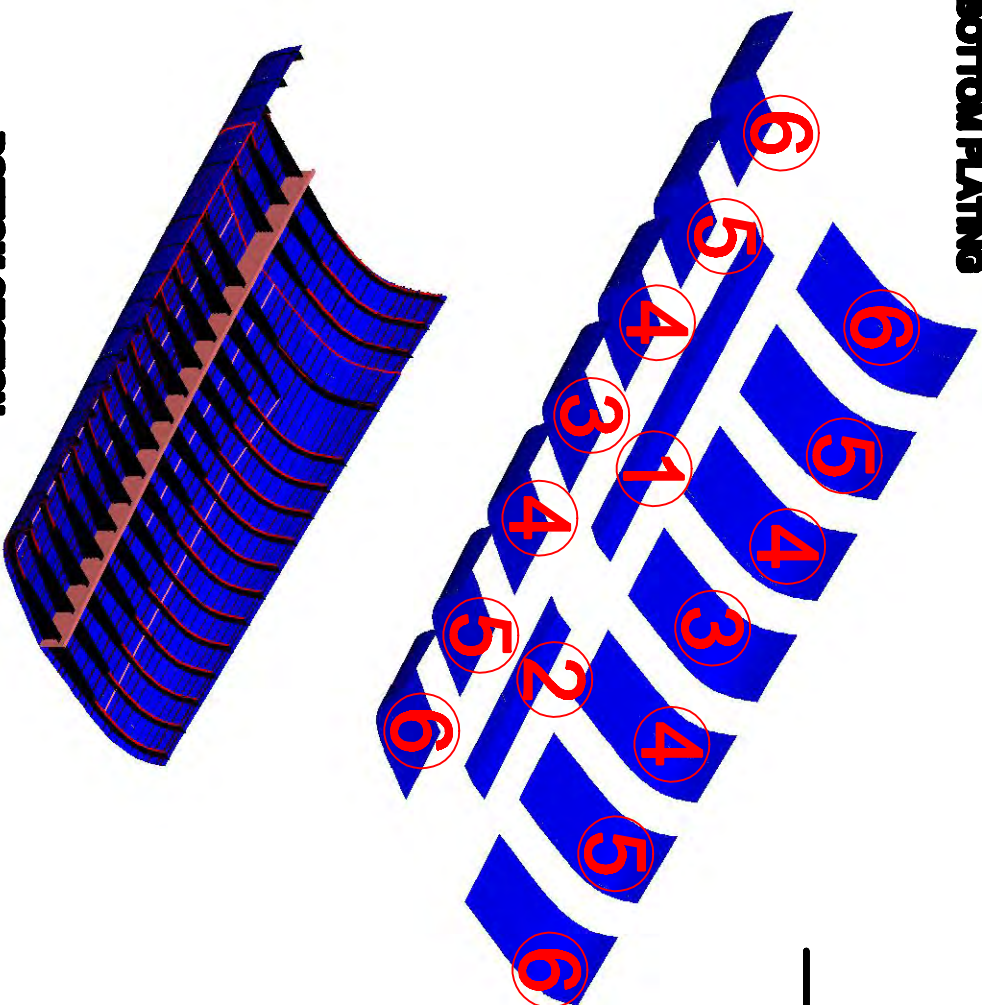
DRN : UMAIRATUS SALSABILA

PAPER SIZE : A4

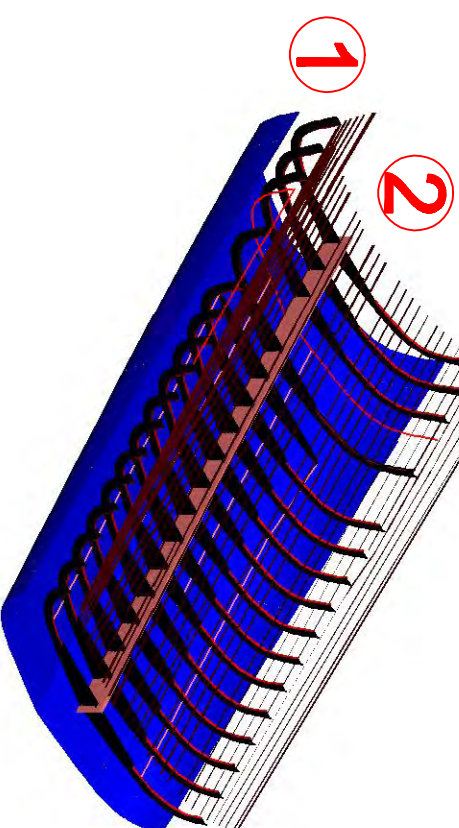
CHKD: Ir. TRIWILASWANDIO W. P.,MSc

NOTE :

**BOTTOM PLATING ASSEMBLY
FITTING UP AND WELDING OF
BOTTOM PLATING**



BOTTOM STIFFENNER ASSEMBLY
1. FITTING UP OF GIRDER AND TRANSVERSE FRAMING
2. FITTING UP OF LONGITUDINALS



**BOTTOM SECTION
WELDING OF GIRDER,
TRANSVERSES AND
LONGITUDINALS**

SECTION ASSEMBLY

PANEL AND PART ASSEMBLY METHOD

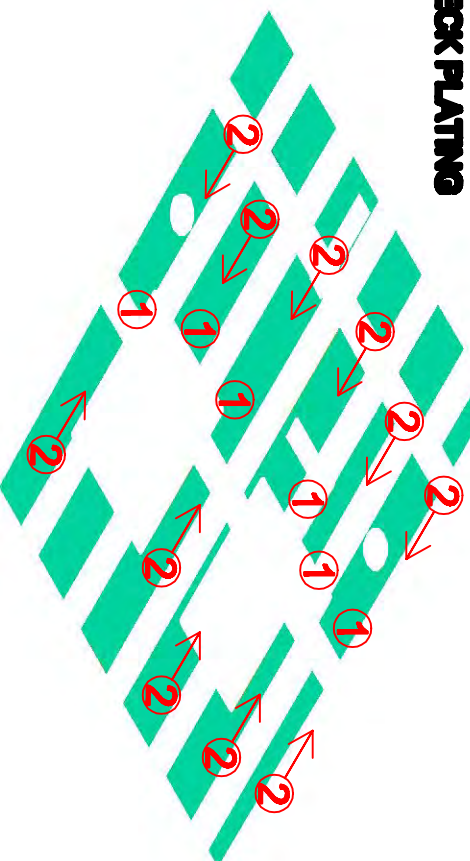
DRN : UMAIRATUS SALSABILA

PAPER SIZE : A4

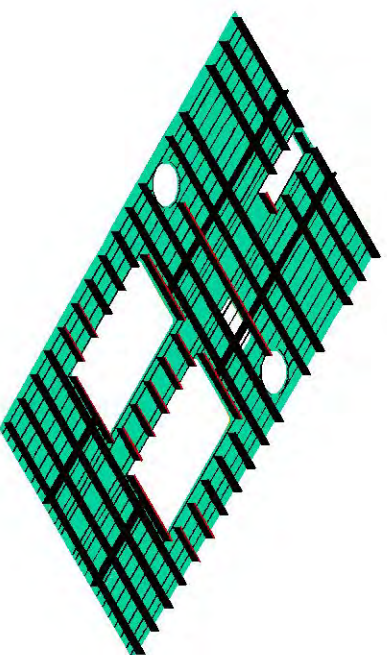
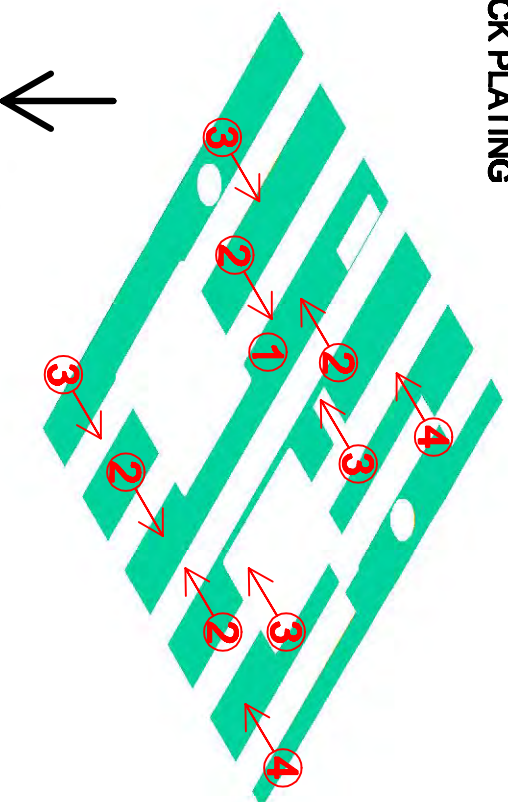
CHKD: Ir. TRIWILASWANDIO W. P.,MSc

NOTE :

DECK PLATING ASSEMBLY FITTING UP AND WELDING OF DECK PLATING

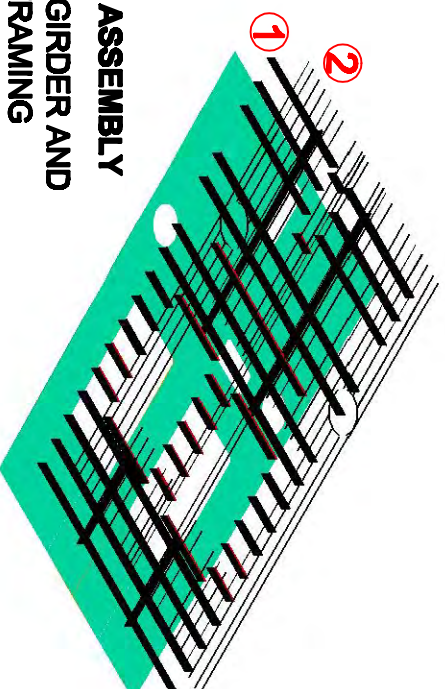


FITTING UP AND WELDING OF DECK PLATING



DECK SECTION WELDING OF GIRDER, TRANSVERSES AND LONGITUDINALS

- DECK STIFFENNER ASSEMBLY**
1. FITTING UP OF GIRDER AND TRANSVERSE FRAMING
 2. FITTING UP OF LONGITUDINALS



DECK SECTION ASSEMBLY

PANEL AND PART ASSEMBLY METHODE

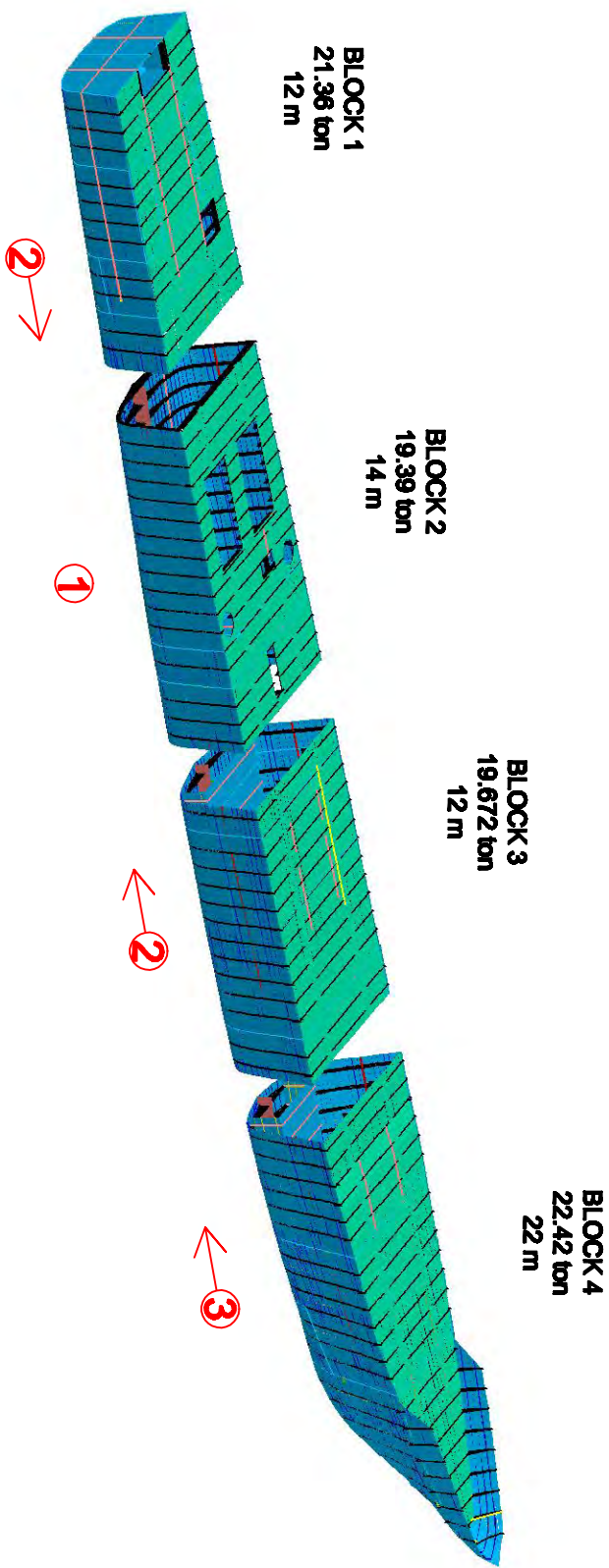
DRN : UMAIRATUS SALSABILA

PAPER SIZE : A4

CHKD: Ir. TRIWILASWANDIO W. P.,MSc

NOTE :

BLOCK DIVISION
60 m PATROL SHIP
CRANE CAPACITY 25 TON



DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIP
BUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGI

IPV 80 m

BLOCK DIVISION

Drawn by : Irawan Samsudin	Signature	Date	A2
Checked by : Ir. Triharmanto W. P., M.Sc		7-12-2016	

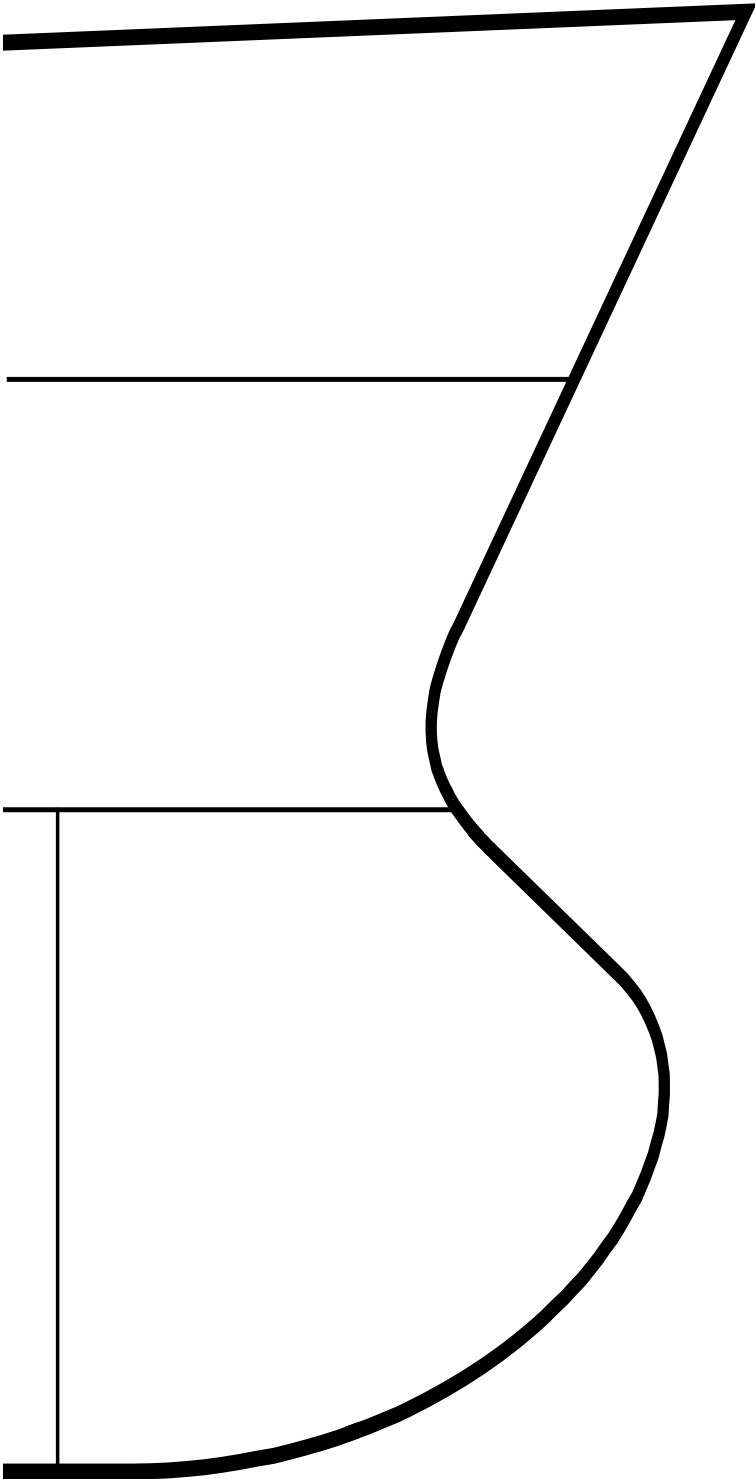
Special Service Craft

Version: 2014.0.0.3

60m Patrol Ship

Yard:

Yard Number:



Disclaimer

Lloyd's Register, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the 'Lloyd's Register Group'. The Lloyd's Register Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

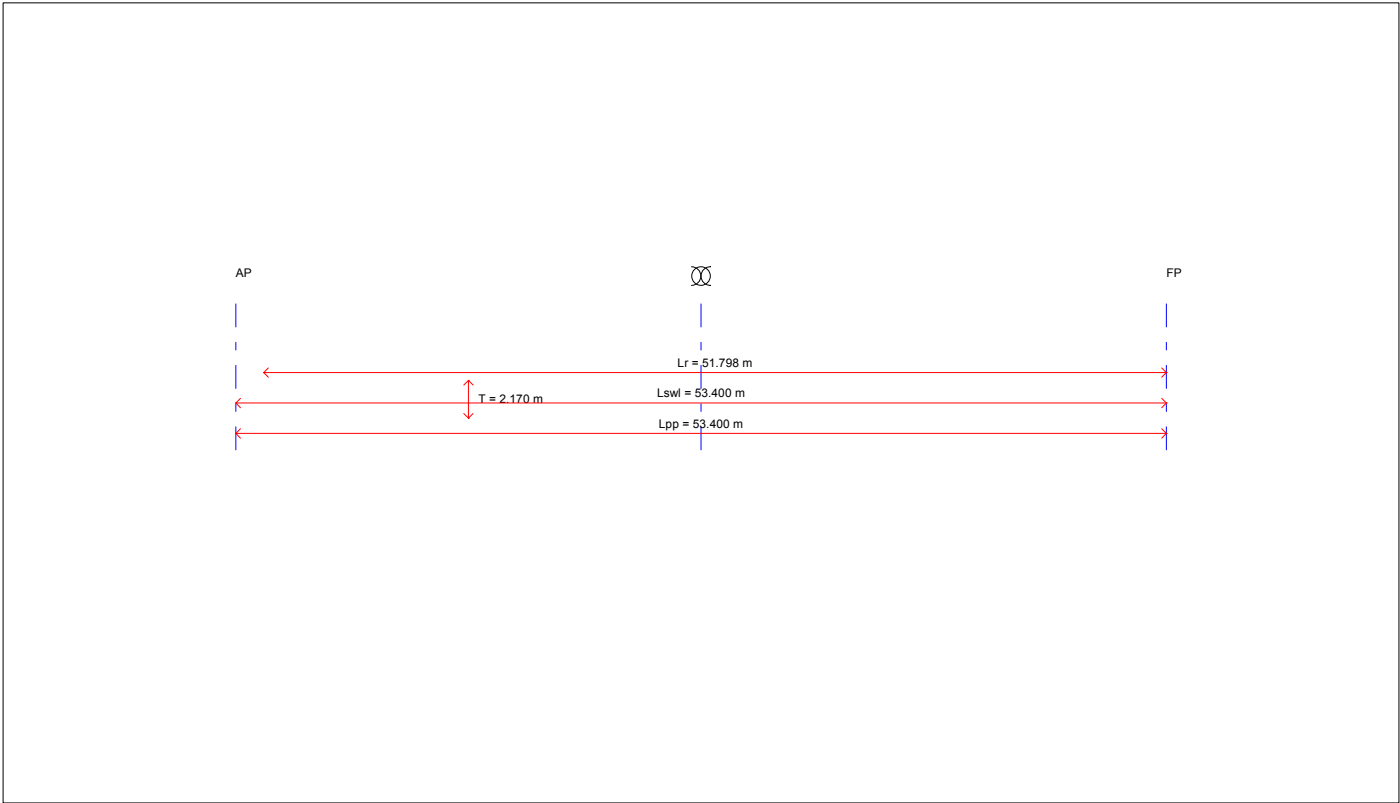
Contents

1 Details.....	3
1.1 Basic_Data.....	3
1.2 Additional_Data.....	3
1.3 Classification.....	4
1.4 Craft.....	4
1.5 Transverse Framing Regions.....	4
2 Loadings.....	6
2.1 Loading_Conditions.....	6
3 Materials.....	8
3.1 Steel.....	8
4 Profiles.....	9
4.1 deck long.....	9
4.2 side long stringer.....	9
4.3 bottom side girder.....	9
4.4 bottom long stringer.....	10
4.5 deck transverse.....	10
4.6 deck girder.....	11
4.7 side transverse.....	11
4.8 side continuous girder.....	11
4.9 bottom C.L. girder.....	12
4.10 bottom plate floor.....	12
4.11 bottom transverse.....	13
5 Transverse_Sections.....	14
5.1 Midship_Section.....	14
6 Structure.....	15
6.1 Side Shell.....	15
6.1.1 side plating.....	15
6.1.2 side stringer.....	16
6.1.3 side longitudinal.....	16
6.1.4 side transverse.....	16
6.2 Bottom Shell.....	17
6.2.1 bottom plating.....	17
6.2.2 bottom longitudinal.....	17
6.2.3 bottom transverse.....	18
6.2.4 keel plate.....	18
6.3 Bulkheads.....	18
6.3.1 Deep Tank Bulkhead.....	18
6.3.1.1 bulkhead plate.....	18
6.3.1.2 bulkhead vertical stringer.....	19
6.3.1.3 bulkhead stiffener.....	19
6.3.2 Watertight Bulkhead.....	19
6.3.2.1 bulkhead plate.....	19
6.3.2.2 bulkhead horizontal stringer.....	20
6.3.2.3 bulkhead stiffener.....	20
6.3.3 Collision Bulkhead.....	20
6.3.3.1 bulkhead plate.....	21
6.3.3.2 bulkhead vertical striger.....	21
6.3.3.3 bulkhead stiffener.....	21
6.4 Deck Structure.....	22
6.4.1 deck plating.....	22
6.4.2 deck girder.....	22
6.4.3 deck transverse.....	22
6.4.4 deck longitudinal.....	23
6.5 Single Bottom.....	23
6.5.1 center girder.....	23
6.5.2 side girder.....	24
6.5.3 plate floor.....	24
7 Hull_Girder_Strength.....	25
8 Machinery.....	26
8.1 Basic_Machinery_Data.....	26
8.2 Propulsion_Trains.....	26
8.3 Auxiliary_Machinery.....	26

1 Details

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	Not Applicable	No



1.1 Basic_Data

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Length Overall	m	60.000
Length Perpendiculars	m	53.400
Summer Waterline Length	m	53.400
Rule Length	m	51.798
Depth	m	4.370
Breadth	m	8.200
Summer Draught	m	2.170
Maximum Speed	knots	21.500
Moulded Displacement Mass	tonnes	425.000
Water Density	kg/m3	1025.000
Moulded Displacement Volume	m3	414.634
Block Coefficient		0.450
Taylor quotient		2.942
Number of Hulls		1
Load Line Length	m	0.000
Global Assessment		No
Sailing Yacht		No

1.2 Additional_Data

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

Property	Units	Entered
<i>Craft has Chines</i>		No
<i>Breadth between Tangential Points</i>	m	0.000
<i>Deadrise Angle</i>	deg	0.000
<i>Support Girth</i>	m	0.000
<i>Side shell deadrise angle at 0.75Lwl</i>	deg	0.000
<i>Bottom deadrise angle at 0.75Lwl</i>	deg	0.000

1.3 Classification

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Entered
<i>Craft Type</i>	Mono
<i>Service Area</i>	G1
<i>Service Type</i>	Patrol
<i>HSC Compliant</i>	Yes
<i>LDC Compliant</i>	No
<i>Planing</i>	No

1.4 Craft

Status Summary Table

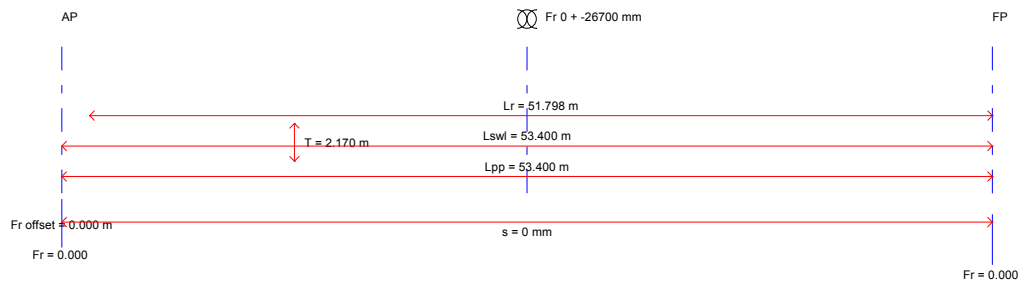
Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

Property	Entered
<i>LR Number</i>	
<i>Project Title</i>	60m Patrol Ship
<i>Builder</i>	
<i>Yard Number</i>	
<i>Hull Material</i>	Steel
<i>Superstructure Material</i>	Aluminium

1.5 Transverse Framing Regions

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	Not Applicable	No



Property	Units	Entered
Reverse framing?		0
Location of first frame from AP (Lpp) (aft AP -ve)	m	0.000
First frame number		0.000

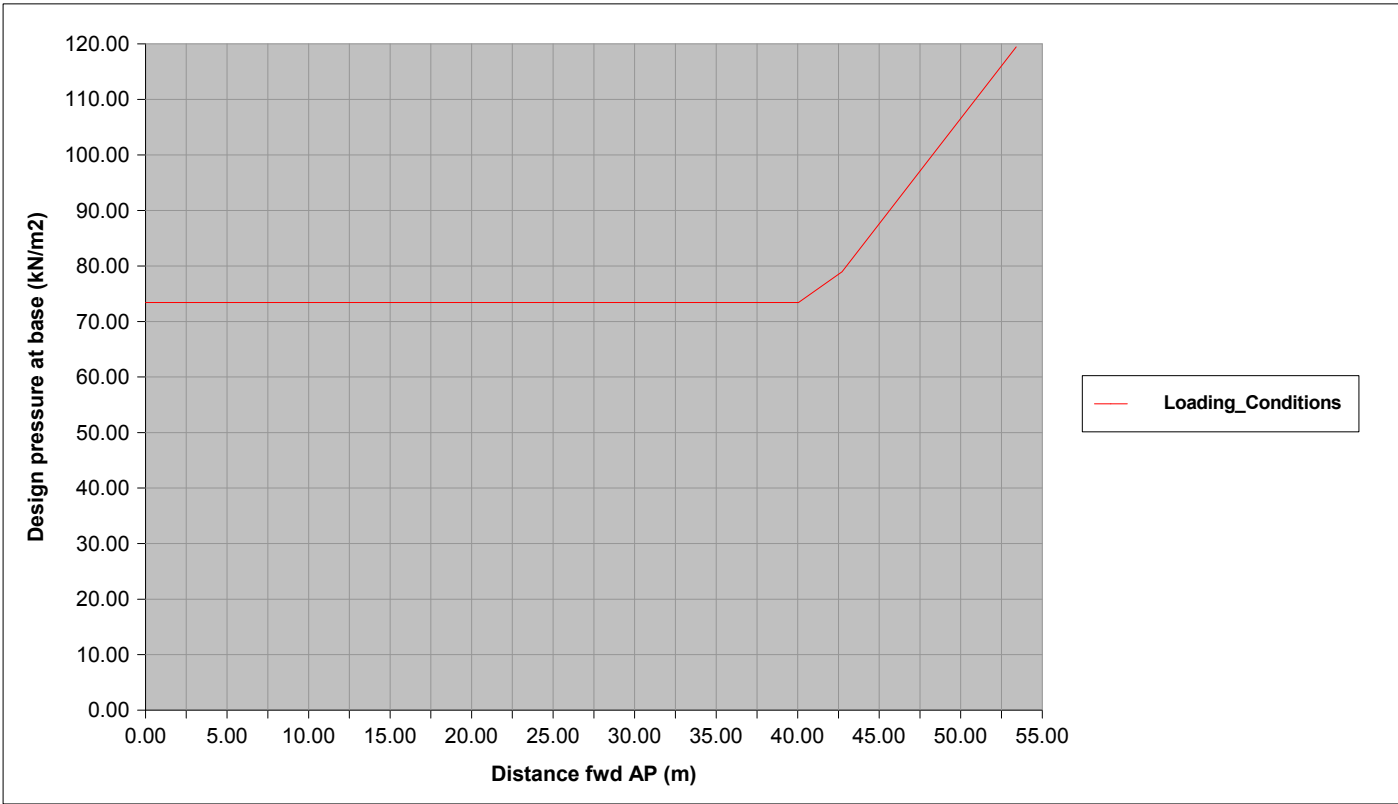
Framing System

Frame spacing (mm)	Number of frame spacings between floors	Start frame #	End frame #	End Frame Forward of AP (m)	End frame (x/LRule)
0.000	0.000	0.000	0.000	53.400	1.000

2 Loadings

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	Not Applicable	No



Distance fwd AP (m)	0.000	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500	0.550
Loading_Conditions	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427

Distance fwd AP (m)	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000
Loading_Conditions	73.427	73.427	73.427	73.427	78.951	89.079	99.208	109.336	119.464

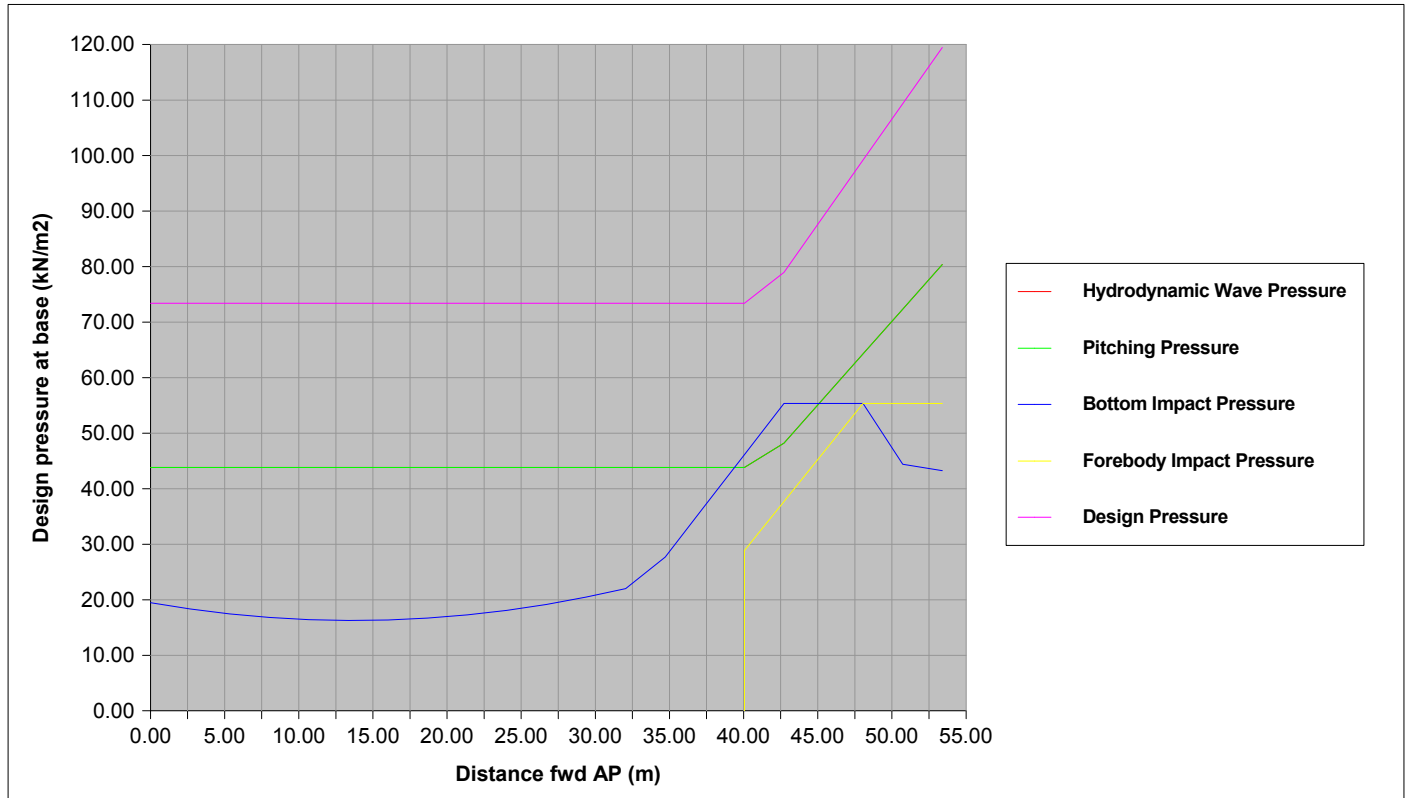
2.1 Loading_Conditions

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Basic Data		
Waterline Length	m	53.400
Draught	m	2.170
Displacement Mass	tonnes	425.000
Water Density	kg/m3	1025.000
Displacement Volume	m3	414.634
LCG from AP	m	0.000
Max Breadth of Hull at LCG	m	0.000
Vertical Acceleration at LCG	g	1.225
Relative Vertical Speed	knots	2.657
Hull Type		Partially Submerged
In Contact with Water		Yes
Waterline Offset from AP	m	0.000
Block Coefficient, Cb		0.450
Operational Parameters		
Allowable Speed	knots	21.500

Property	Units	Entered
Operating Mode		Displacement
Froude Number		0.483
Taylor Quotient		2.942
Volumetric Speed Number		19.634
Wave Height		
Significant	m	0.600
Maximum	m	1.000
Surviving	m	0.774
Additional Data		
Operational Height	m	0.000
Air Gap	m	0.000
Girth Distance	m	0.000



Distance fwd AP (m)	0.000	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500
Hydrodynamic Wave Pressure	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845
Pitching Pressure	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845
Bottom Impact Pressure	19.487	18.356	17.469	16.826	16.427	16.272	16.362	16.695	17.273	18.094	19.160
Forebody Impact Pressure	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Design Pressure	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427

Distance fwd AP (m)	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000
Hydrodynamic Wave Pressure	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	48.230	56.268	64.306	72.345	80.383
Pitching Pressure	43.845	43.845	43.845	43.845	43.845	48.230	56.268	64.306	72.345	80.383
Bottom Impact Pressure	20.470	22.024	27.682	36.909	46.136	55.364	55.364	55.364	44.406	43.243
Forebody Impact Pressure	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.881	37.709	46.536	55.364	55.364
Design Pressure	73.427	73.427	73.427	73.427	73.427	78.951	89.079	99.208	109.336	119.464

3 Materials

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

3.1 Steel

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
High tensile steel factor, ks		0.527
Modulus of Elasticity	N/mm2	200000.000
Yield Stress	N/mm2	446.000
Structure efficiency factor		1.000
Ultimate Tensile Strength	N/mm2	546.000
Steel Type		High Tensile
Poisson's ratio		0.300
Density	kg/m3	7850.000
Display colour		8388736

4 Profiles

Status Summary Table

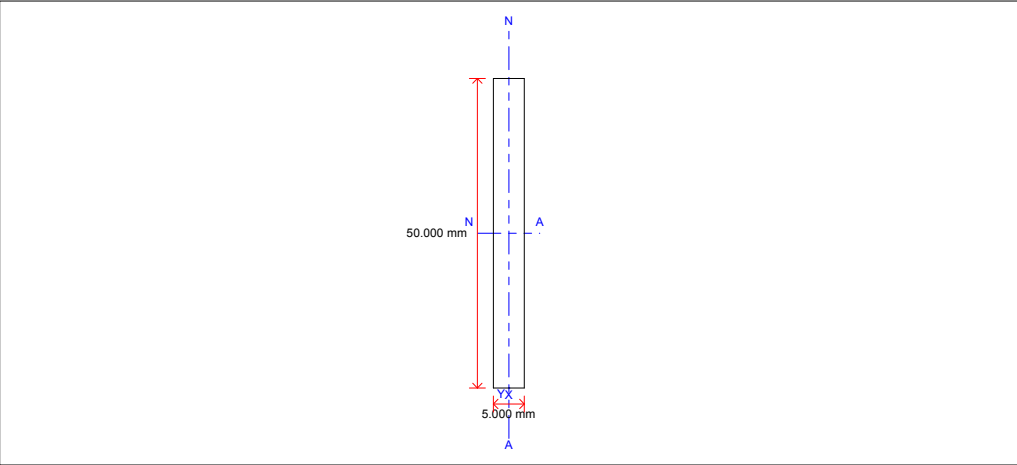
Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

4.1 deck long.

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Web depth - dw	mm	50.000
Web thickness - tw	mm	5.000
Web area	cm2	2.500
Section modulus XX	cm3	2.083
Section modulus YY	cm3	0.208
Inertia XX	cm4	5.208
Inertia YY	cm4	0.052
Total area	cm2	2.500
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	2.500
Inertia XX'	cm4	5.208
Inertia YY'	cm4	0.052
Principal axis angle	deg	0.000

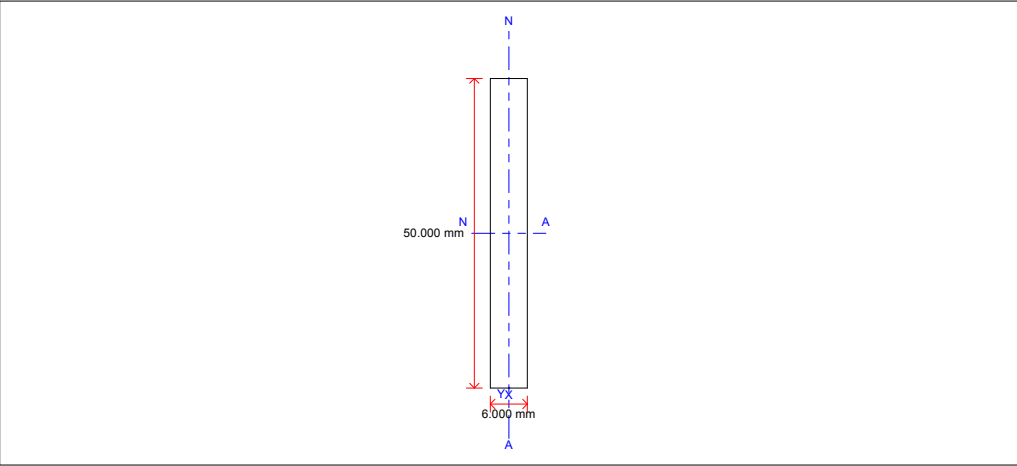


4.2 side long stringer

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Web depth - dw	mm	50.000
Web thickness - tw	mm	6.000
Web area	cm2	3.000
Section modulus XX	cm3	2.500
Section modulus YY	cm3	0.300
Inertia XX	cm4	6.250
Inertia YY	cm4	0.090
Total area	cm2	3.000
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	2.500
Inertia XX'	cm4	6.250
Inertia YY'	cm4	0.090
Principal axis angle	deg	0.000

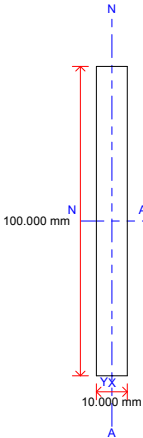


4.3 bottom side girder

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Web depth - dw	mm	100.000
Web thickness - tw	mm	10.000
Web area	cm2	10.000
Section modulus XX	cm3	16.667
Section modulus YY	cm3	1.667
Inertia XX	cm4	83.333
Inertia YY	cm4	0.833
Total area	cm2	10.000
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	5.000
Inertia XX'	cm4	83.333
Inertia YY'	cm4	0.833
Principal axis angle	deg	0.000

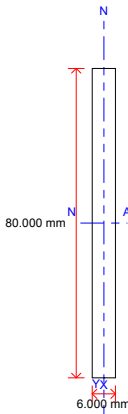


4.4 bottom long stringer

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Web depth - dw	mm	80.000
Web thickness - tw	mm	6.000
Web area	cm2	4.800
Section modulus XX	cm3	6.400
Section modulus YY	cm3	0.480
Inertia XX	cm4	25.600
Inertia YY	cm4	0.144
Total area	cm2	4.800
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	4.000
Inertia XX'	cm4	25.600
Inertia YY'	cm4	0.144
Principal axis angle	deg	0.000

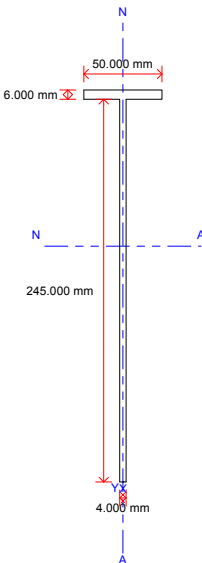


4.5 deck transverse

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No


Property	Units	Entered
Fabrication Type		Built
Web depth - dw	mm	245.000
Web thickness - tw	mm	4.000
Flange breadth	mm	50.000
Flange thickness	mm	6.000
Web area	cm2	9.800
Flange area	cm2	3.000
Section modulus XX	cm3	56.088
Section modulus YY	cm3	2.552
Inertia XX	cm4	852.058
Inertia YY	cm4	6.381
Total area	cm2	12.800
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	15.191
Inertia XX'	cm4	852.058
Inertia YY'	cm4	6.381
Principal axis angle	deg	0.000

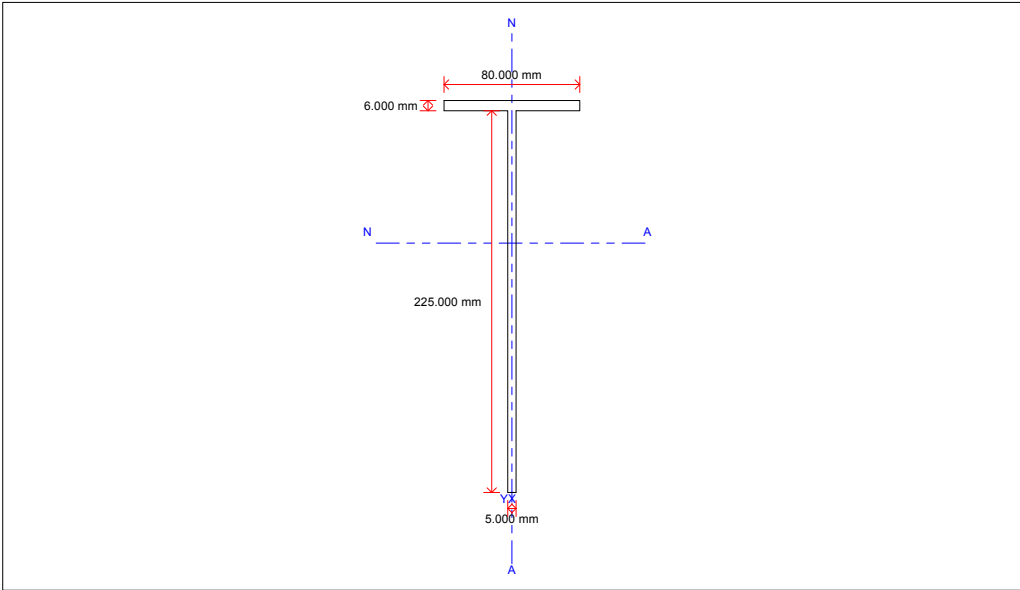


4.6 deck girder

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No


Property	Units	Entered
<i>Fabrication Type</i>		Built
<i>Web depth - dw</i>	mm	225.000
<i>Web thickness - tw</i>	mm	5.000
<i>Flange breadth</i>	mm	80.000
<i>Flange thickness</i>	mm	6.000
<i>Web area</i>	cm2	11.250
<i>Flange area</i>	cm2	4.800
<i>Section modulus XX</i>	cm3	62.811
<i>Section modulus YY</i>	cm3	6.459
<i>Inertia XX</i>	cm4	923.584
<i>Inertia YY</i>	cm4	25.834
<i>Total area</i>	cm2	16.050
<i>Inertia XY</i>	cm4	0.000
<i>Centroid X</i>	cm	0.000
<i>Centroid Y</i>	cm	14.704
<i>Inertia XX'</i>	cm4	923.584
<i>Inertia YY'</i>	cm4	25.834
<i>Principal axis angle</i>	deg	0.000

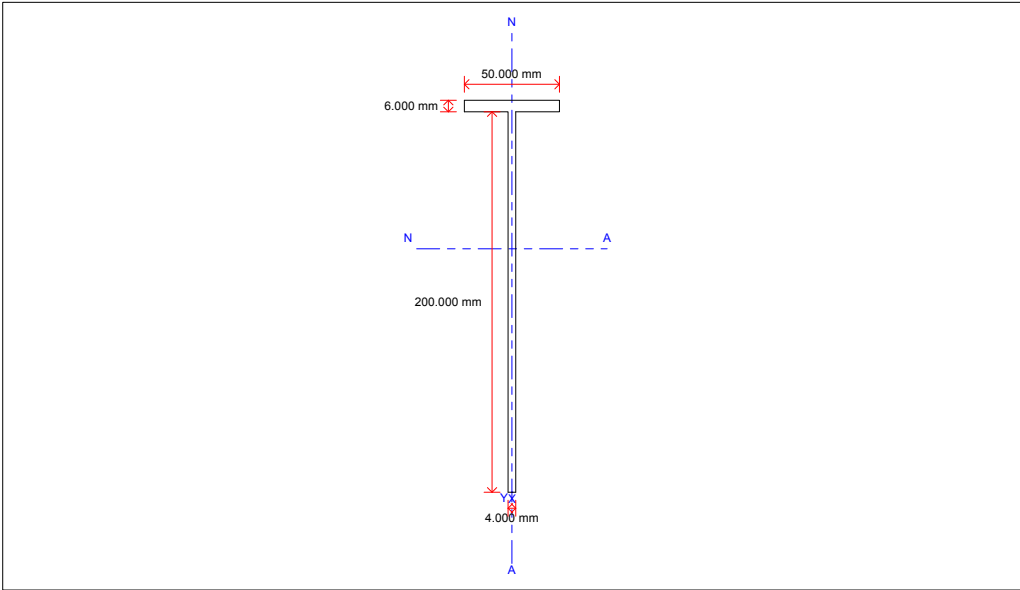


4.7 side transverse

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
<i>Fabrication Type</i>		Built
<i>Web depth - dw</i>	mm	200.000
<i>Web thickness - tw</i>	mm	4.000
<i>Flange breadth</i>	mm	50.000
<i>Flange thickness</i>	mm	6.000
<i>Web area</i>	cm2	8.000
<i>Flange area</i>	cm2	3.000
<i>Section modulus XX</i>	cm3	38.896
<i>Section modulus YY</i>	cm3	2.543
<i>Inertia XX</i>	cm4	498.226
<i>Inertia YY</i>	cm4	6.357
<i>Total area</i>	cm2	11.000
<i>Inertia XY</i>	cm4	0.000
<i>Centroid X</i>	cm	0.000
<i>Centroid Y</i>	cm	12.809
<i>Inertia XX'</i>	cm4	498.226
<i>Inertia YY'</i>	cm4	6.357
<i>Principal axis angle</i>	deg	0.000

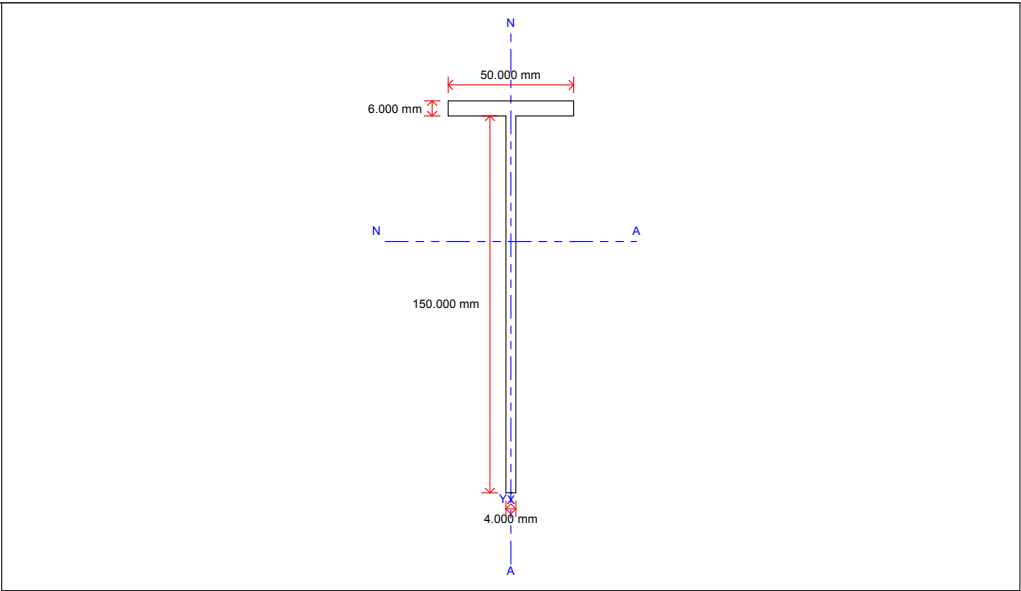


4.8 side continuous girder

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Fabrication Type	<div></div>	Built
Web depth - dw	mm	150.000
Web thickness - tw	mm	4.000
Flange breadth	mm	50.000
Flange thickness	mm	6.000
Web area	cm2	6.000
Flange area	cm2	3.000
Section modulus XX	cm3	23.195
Section modulus YY	cm3	2.532
Inertia XX	cm4	234.270
Inertia YY	cm4	6.330
Total area	cm2	9.000
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	10.100
Inertia XX'	cm4	234.270
Inertia YY'	cm4	6.330
Principal axis angle	deg	0.000

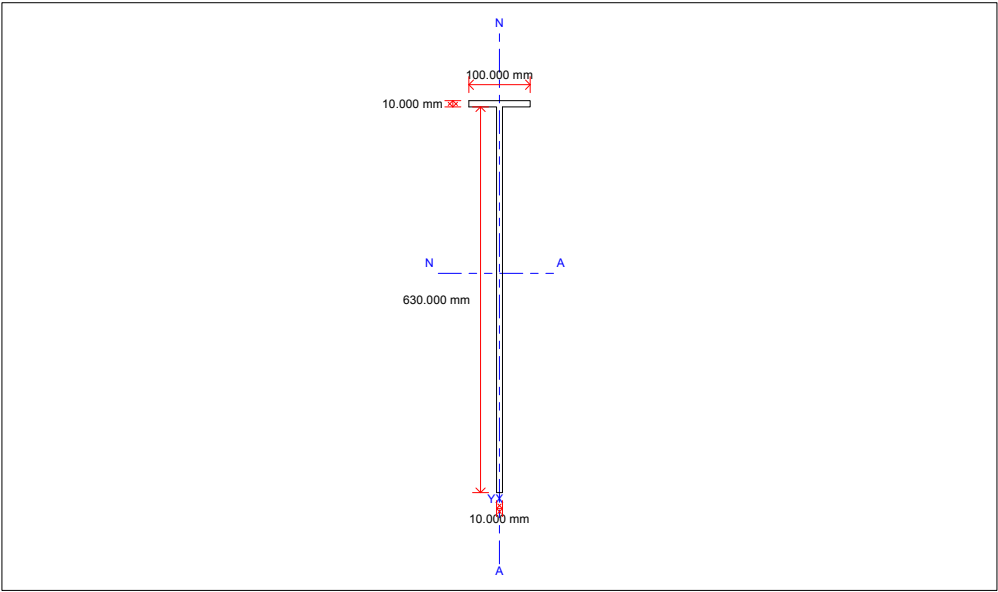


4.9 bottom C.L. girder

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Fabrication Type	<div></div>	Built
Web depth - dw	mm	630.000
Web thickness - tw	mm	10.000
Flange breadth	mm	100.000
Flange thickness	mm	10.000
Web area	cm2	63.000
Flange area	cm2	10.000
Section modulus XX	cm3	826.990
Section modulus YY	cm3	17.717
Inertia XX	cm4	29675.344
Inertia YY	cm4	88.583
Total area	cm2	73.000
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	35.884
Inertia XX'	cm4	29675.344
Inertia YY'	cm4	88.583
Principal axis angle	deg	0.000

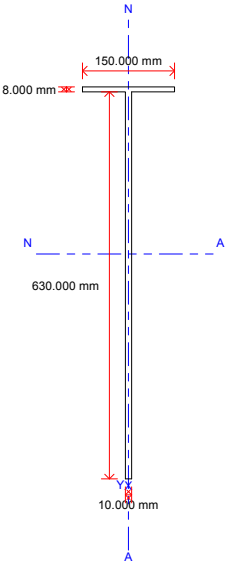


4.10 bottom plate floor

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Fabrication Type	<div></div>	Built
Web depth - dw	mm	630.000
Web thickness - tw	mm	10.000
Flange breadth	mm	150.000
Flange thickness	mm	8.000
Web area	cm2	63.000
Flange area	cm2	12.000
Section modulus XX	cm3	849.508
Section modulus YY	cm3	30.700
Inertia XX	cm4	31095.399
Inertia YY	cm4	230.250
Total area	cm2	75.000
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	36.604
Inertia XX'	cm4	31095.399
Inertia YY'	cm4	230.250
Principal axis angle	deg	0.000

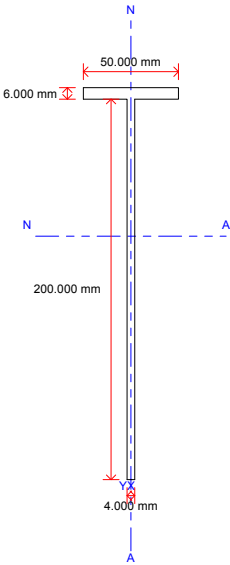


4.11 bottom transverse

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	No

Property	Units	Entered
Fabrication Type	<div></div>	Built
Web depth - dw	mm	200.000
Web thickness - tw	mm	4.000
Flange breadth	mm	50.000
Flange thickness	mm	6.000
Web area	cm2	8.000
Flange area	cm2	3.000
Section modulus XX	cm3	38.896
Section modulus YY	cm3	2.543
Inertia XX	cm4	498.226
Inertia YY	cm4	6.357
Total area	cm2	11.000
Inertia XY	cm4	0.000
Centroid X	cm	0.000
Centroid Y	cm	12.809
Inertia XX'	cm4	498.226
Inertia YY'	cm4	6.357
Principal axis angle	deg	0.000



5 Transverse_Sections

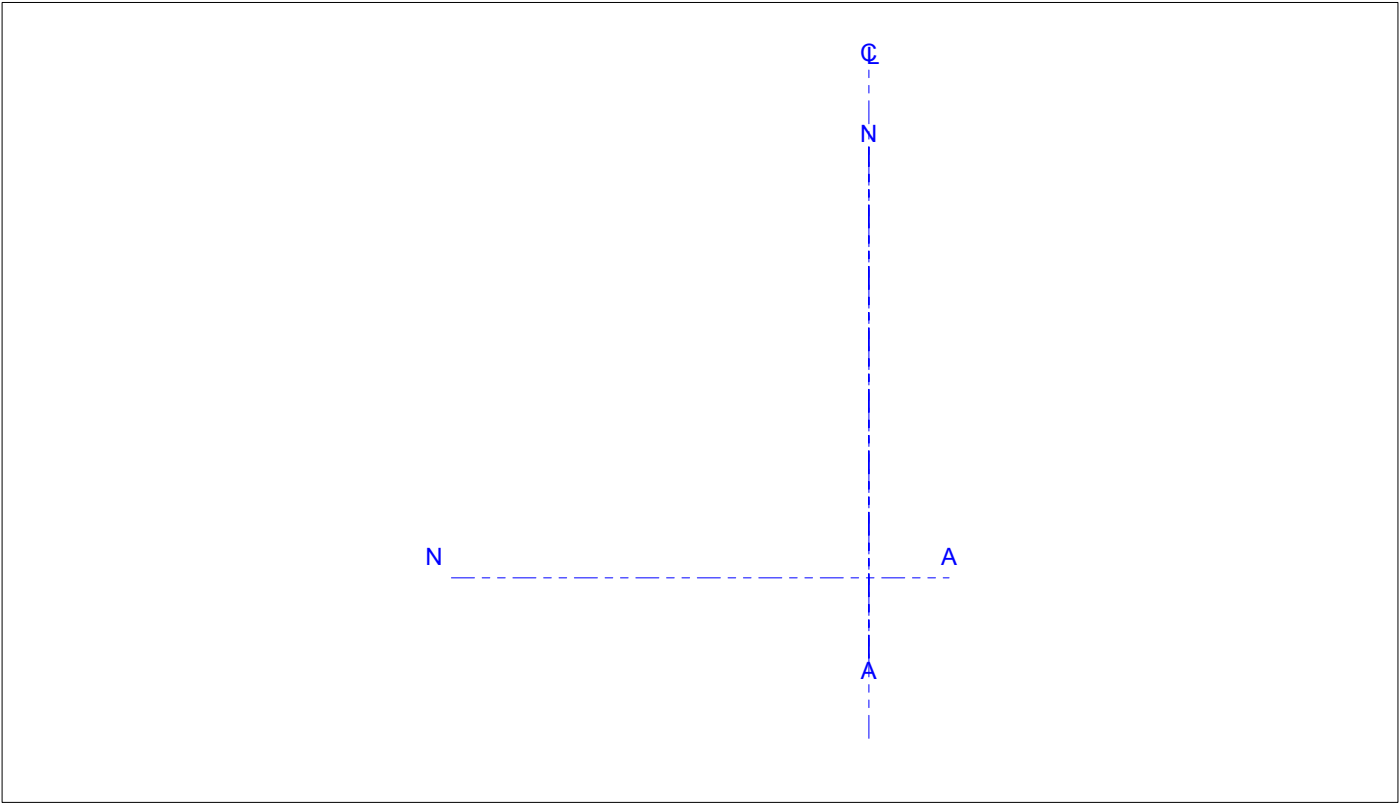
Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	Yes

5.1 Midship_Section

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Not Applicable	Yes



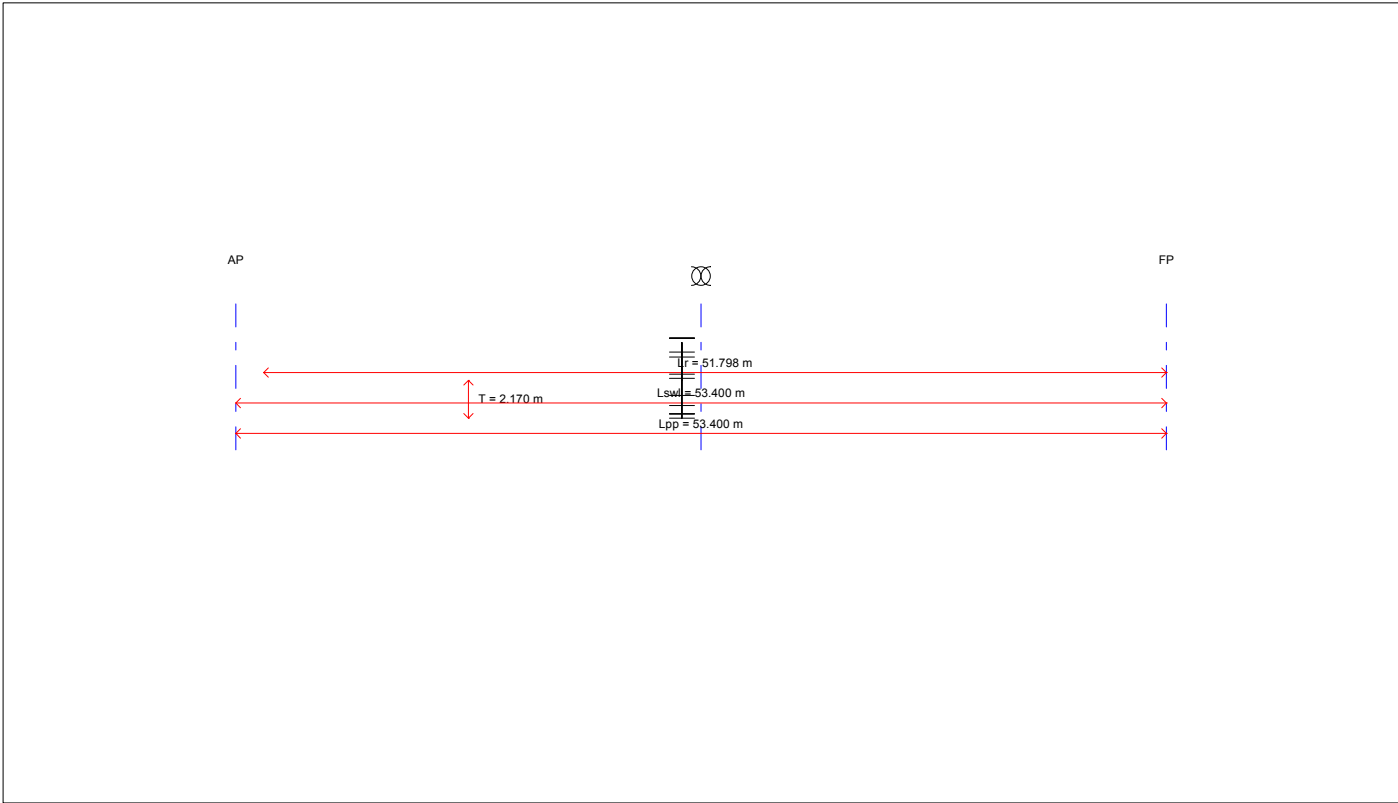
Property	Units	Entered
Only include effective longitudinal material?		Yes
Frame Number		32
Frame Offset	mm	-25899.000
Distance forward of AP	m	27.501
Fraction of rule length (x/LRule)		0.500
Section modulus at deck	m3	0.000
Section modulus at keel	m3	0.000
Shear area	m2	0.000
Inertia YY	m4	0.000
Inertia ZZ	m4	0.000
Total area	m2	0.000
Total effective area	m2	0.000
Inertia YZ	m4	0.000
Centroid Y	m	0.000
Centroid Z	m	0.000
Inertia YY'	m4	0.000
Inertia ZZ'	m4	0.000
Principal Axis Angle	deg	0.000
Weight/Unit length	kg/m	0.000

Legend

6 Structure

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	Yes	Yes



6.1 Side Shell

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

6.1.1 side plating

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Curvature	mm	1.000		
Panel Breadth	mm	800.000		
Panel Length	mm	2221.000		
Panel Aspect Ratio		2.776		
Stiffener Spacing	mm	235.000		
Thickness	mm	4.000		3.148
Height of weather deck	m	4.600		
Height above Base	m	3.512		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m2	44.916	44.916	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.230		
Mean deadrise angle of bottom plating at location	deg	0.000		
Mean deadrise angle of side plating at local section	deg	0.000		
Slamming Zone		No		

6.1.2 side stringer

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel	Steel			
Effective Span	m	0.800		
Primary Stiffener Spacing	mm	1644.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	305.128		
Profile	side continuous girder			Pass
Section Modulus	cm ³	68.601		8.215
Inertia	cm ⁴	783.997		29.768
Web Area	cm ²	6.000		1.067
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Height of weather deck	m	4.600		
Height above Base	m	2.290		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m ²	27.161	27.161	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		
Mean deadrise angle of bottom plating at location	deg	0.000		
Mean deadrise angle of side plating at local section	deg	0.000		

6.1.3 side longitudinal

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel	Steel			
Effective Span	m	0.800		
Primary Stiffener Spacing	mm	235.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	194.029		
Profile	side long stringer			Pass
Section Modulus	cm ³	4.975		2.178
Inertia	cm ⁴	22.127		7.015
Web Area	cm ²	3.000		0.236
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Height of weather deck	m	4.600		
Height above Base	m	2.530		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m ²	41.979	41.979	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		
Mean deadrise angle of bottom plating at location	deg	0.000		
Mean deadrise angle of side plating at local section	deg	0.000		
Slamming Zone	No			

6.1.4 side transverse

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel	Steel			
Effective Span	m	1.644		
Primary Stiffener Spacing	mm	800.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	387.929		
Profile	side transverse			Pass
Section Modulus	cm ³	103.080		13.281
Inertia	cm ⁴	1587.794		98.903

Property	Units	Entered	Derived	Required
Web Area	cm2	8.000		0.840
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Height of weather deck	m	4.600		
Height above Base	m	3.795		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m2	21.369	21.369	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		
Mean deadrise angle of bottom plating at location	deg	0.000		
Mean deadrise angle of side plating at local section	deg	0.000		

6.2 Bottom Shell

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

6.2.1 bottom plating

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	Yes

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Curvature	mm	12.000		
Panel Breadth	mm	800.000		
Panel Length	mm	260.000		
Panel Aspect Ratio		3.077		
Stiffener Spacing	mm	260.000		
Thickness	mm	4.000		3.903
Slamming Zone		No		
Below Tangential Point		Yes		
Height above Base	m	0.727		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m2	73.427	73.427	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		

6.2.2 bottom longitudinal

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	0.800		
Primary Stiffener Spacing	mm	260.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	194.029		
Profile		bottom long stringer		Pass
Section Modulus	cm3	11.830		3.792
Inertia	cm4	78.020		12.216
Web Area	cm2	4.800		0.411
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Slamming Zone		No		
Below Tangential Point		Yes		
Height above Base	m	0.000		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m2	66.070	66.070	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		

6.2.3 bottom transverse

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	1.538		
Primary Stiffener Spacing	mm	800.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	371.070		
Profile		bottom transverse		Pass
Section Modulus	cm ³	102.710		17.987
Inertia	cm ⁴	1567.633		125.307
Web Area	cm ²	8.000		1.215
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Below Tangential Point		Yes		
Height above Base	m	1.306		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m ²	33.066	33.066	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		

6.2.4 keel plate

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	No

Property	Units	Entered	Required
Steel		Steel	
Breadth	mm	987.000	702.586
Thickness	mm	8.000	6.480

6.3 Bulkheads

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

6.3.1 Deep Tank Bulkhead

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

Property	Units	Entered
Height of Tank Top	m	1.736
Height of Overflow	m	5.700

6.3.1.1 bulkhead plate

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Curvature	mm	0.000		
Panel Breadth	mm	300.000		
Panel Length	mm	1736.000		
Panel Aspect Ratio		5.787		
Stiffener Spacing	mm	300.000		
Thickness	mm	4.000		3.148
Load Head	m	2.416		
Height above Base	m	0.868		

Property	Units	Entered	Derived	Required
Distance FWD of AP	m	29.600		
Design Pressure	kN/m2	27.059	27.059	

6.3.1.2 bulkhead vertical stringer

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	1.721		
Primary Stiffener Spacing	mm	2500.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	584.730		
Profile		side continuous girder		Pass
Section Modulus	cm3	71.424		59.899
Inertia	cm4	924.078		748.316
Web Area	cm2	6.000		3.014
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Load Head	m	2.416		
Height above Base	m	0.868		
Distance FWD of AP	m	29.600		
Design Pressure	kN/m2	27.059	27.059	

6.3.1.3 bulkhead stiffener

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	1.721		
Primary Stiffener Spacing	mm	300.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	194.029		
Profile		bottom long stringer		Pass
Section Modulus	cm3	11.830		8.294
Inertia	cm4	78.020		71.838
Web Area	cm2	4.800		0.417
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Load Head	m	2.416		
Height above Base	m	0.868		
Distance FWD of AP	m	29.600		
Design Pressure	kN/m2	27.059	27.059	

6.3.2 Watertight Bulkhead

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered
Height of Bhd. Deck	m	3.000

6.3.2.1 bulkhead plate

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Curvature	mm	0.000		
Panel Breadth	mm	300.000		

Property	Units	Entered	Derived	Required
Panel Length	mm	1645.000		
Panel Aspect Ratio		5.483		
Stiffener Spacing	mm	300.000		
Thickness	mm	4.000		2.700
Load Head	m	3.000		
Height above Base	m	0.000		
Distance FWD of AP	m	0.000		
Design Pressure	kN/m2	21.600	21.600	

6.3.2.2 bulkhead horizontal stringer

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	7.454		
Primary Stiffener Spacing	mm	1645.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	1351.355		
Profile		side continuous girder		Pass
Section Modulus	cm3	73.519		15.247
Inertia	cm4	1053.517		594.003
Web Area	cm2	6.000		0.177
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Load Head	m	0.093		
Height above Base	m	2.907		
Distance FWD of AP	m	0.000		
Design Pressure	kN/m2	0.670	0.670	
Load Model		B		

6.3.2.3 bulkhead stiffener

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	1.645		
Primary Stiffener Spacing	mm	300.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	194.029		
Profile		side long stringer		Pass
Section Modulus	cm3	4.975		0.901
Inertia	cm4	22.127		6.540
Web Area	cm2	3.000		0.047
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Load Head	m	0.653		
Height above Base	m	2.347		
Distance FWD of AP	m	0.000		
Design Pressure	kN/m2	4.702	4.702	
Load Model		B		

6.3.3 Collision Bulkhead

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

Property	Units	Entered
Height of Bhd. Deck	m	4.842

6.3.3.1 bulkhead plate

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Curvature	mm	0.000		
Panel Breadth	mm	300.000		
Panel Length	mm	1872.000		
Panel Aspect Ratio		6.240		
Stiffener Spacing	mm	0.000		
Thickness	mm	4.000		3.024
Load Head	m	1.842		
Height above Base	m	3.000		
Distance FWD of AP	m	49.600		
Design Pressure	kN/m2	13.262	13.262	

6.3.3.2 bulkhead vertical striger

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	1.832		
Primary Stiffener Spacing	mm	1862.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	552.584		
Profile		side continuous girder		Pass
Section Modulus	cm3	71.226		12.849
Inertia	cm4	913.093		98.423
Web Area	cm2	6.000		0.486
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Load Head	m	0.917		
Height above Base	m	3.925		
Distance FWD of AP	m	49.600		
Design Pressure	kN/m2	6.602	6.602	
Load Model		B		

6.3.3.3 bulkhead stiffener

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	1.923		
Primary Stiffener Spacing	mm	300.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	194.029		
Profile		bottom long stringer		Pass
Section Modulus	cm3	11.830		7.018
Inertia	cm4	78.020		47.648
Web Area	cm2	4.800		0.253
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Load Head	m	2.978		
Height above Base	m	1.864		
Distance FWD of AP	m	49.600		
Design Pressure	kN/m2	21.442	21.442	
Load Model		B		

6.4 Deck Structure

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

6.4.1 deck plating

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	Yes

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Curvature	mm	0.000		
Panel Breadth	mm	800.000		
Panel Length	mm	350.000		
Panel Aspect Ratio		2.286		
Stiffener Spacing	mm	350.000		
Thickness	mm	4.000		3.148
Vertical Acceleration	g	1.533		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Pressure exerted by the cargo, WCDP	kN/m2	0.000		
Design Pressure	kN/m2	12.292	12.292	
Height above Base	m	4.600		

6.4.2 deck girder

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	0.800		
Primary Stiffener Spacing	mm	1624.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	303.885		
Profile		deck girder		Pass
Section Modulus	cm3	166.020		2.091
Inertia	cm4	2460.237		9.473
Web Area	cm2	11.250		0.272
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Vertical Acceleration	g	1.533		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Pressure exerted by the cargo, WCDP	kN/m2	0.000		
Design Pressure	kN/m2	7.000	7.000	
Height above Base	m	4.600		

6.4.3 deck transverse

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	2.700		
Primary Stiffener Spacing	mm	800.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	540.000		
Profile		deck transverse		Pass
Section Modulus	cm3	140.823		11.735
Inertia	cm4	2756.324		179.402
Web Area	cm2	9.800		0.452

Property	Units	Entered	Derived	Required
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Vertical Acceleration	g	1.533		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Pressure exerted by the cargo, WCDP	kN/m2	0.000		
Design Pressure	kN/m2	7.000	7.000	
Height above Base	m	4.600		

6.4.4 deck longitudinal

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	0.800		
Primary Stiffener Spacing	mm	1624.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	194.029		
Profile		deck long.		Pass
Section Modulus	cm3	4.204		2.510
Inertia	cm4	19.097		10.105
Web Area	cm2	2.500		0.272
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Vertical Acceleration	g	1.533		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Pressure exerted by the cargo, WCDP	kN/m2	0.000		
Design Pressure	kN/m2	7.000	7.000	
Height above Base	m	4.600		

6.5 Single Bottom

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Yes	No

6.5.1 center girder

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Yes	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	0.800		
Primary Stiffener Spacing	mm	800.000		
Thickness of Attached Plate	mm	8.000		
Width of Attached Plate	mm	240.000		
Profile		bottom C.L. girder		Pass
Section Modulus	cm3	1392.943		5.848
Inertia	cm4	49689.404		21.190
Web Area	cm2	63.000		0.760
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Web Depth	mm	630.000		476.580
Face Flat Area	cm2	10.000		10.256
Face Flat Thickness	mm	10.000		6.659
Below Tangential Point		Yes		
Height above Base	m	0.248		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m2	39.731	39.731	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		
Web Thickness	mm	10.000		6.659

6.5.2 side girder

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	Yes	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	0.800		
Primary Stiffener Spacing	mm	800.000		
Thickness of Attached Plate	mm	4.000		
Width of Attached Plate	mm	240.000		
Profile		bottom side girder		Pass
Section Modulus	cm3	28.608		5.848
Inertia	cm4	215.902		21.190
Web Area	cm2	10.000		0.760
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Face Flat Area	cm2	0.000		5.128
Face Flat Thickness	mm	0.000		4.095
Below Tangential Point		Yes		
Height above Base	m	0.248		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m2	39.731	39.731	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		
Web Thickness	mm	10.000		5.847

6.5.3 plate floor

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	No	No	No

Property	Units	Entered	Derived	Required
Steel		Steel		
Effective Span	m	1.000		
Primary Stiffener Spacing	mm	800.000		
Thickness of Attached Plate	mm	8.000		
Width of Attached Plate	mm	278.495		
Profile		bottom plate floor		Pass
Section Modulus	cm3	1531.135		9.137
Inertia	cm4	54616.982		41.387
Web Area	cm2	63.000		0.950
Angle of Web to Plate	deg	90.000		
Web Depth	mm	630.000		476.580
Face Flat Area	cm2	12.000		5.128
Face Flat Thickness	mm	8.000		4.095
Below Tangential Point		Yes		
Height above Base	m	0.248		
Distance FWD of AP	m	25.600		
Design Pressure	kN/m2	39.731	39.731	
Vertical distance of underside of keel above baseline, zk	m	0.233		
Web Thickness	mm	10.000		4.095

7 Hull_Girder_Strength

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

8 Machinery

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

8.1 Basic_Machinery_Data

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Incomplete	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

Property	Units	Entered
Total Shaft Power	kW	0.000
Number of Shaftlines		0
Number of Engines per Shaft		0

8.2 Propulsion_Trains

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

8.3 Auxiliary_Machinery

Status Summary Table

Data Entered	Calculation Failure	Rule Failure	Overridden Values
Complete	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

blok 1

7.85 ton/m3

	Jenis konstruksi	Ukuran (mm)	t	volume (m3)	berat (ton)
Geladak	Pelat geladak	4	4	0.340	2.669
	Pembujur	50 x 5	5	0.053	0.416
	Deck side girder	225 x 5, 80 x 6	5	0.027	0.209
			6	0.011	0.089
	Pelintang	245 x 4, 50 x 6	4	0.080	0.628
			6	0.030	0.236
Sisi	Pelat sisi	4	4	0.220	1.727
	Pembujur	50 x 6	6	0.083	0.652
	Side stringer	150 x 4, 50 x 6	4	0.015	0.115
			6	0.007	0.058
	Pelintang	200 x 4, 50 x 6	4	0.041	0.325
			6	0.016	0.122
Alas	Pelat alas	4	4	0.302	2.371
	Pelat lunas	8	8	0.094	0.738
	Pembujur	80 x 6	6	0.167	1.311
	Pelintang	200 x 4, 50 x 6	4	0.023	0.177
			6	0.008	0.066
	Center girder	630 x 10, 100 x 10	10	0.086	0.675
	Plate floor	630 x 10, 150 x 8	10	0.141	1.107
			8	0.044	0.345
	Side girder	300x8, 100 x 10	8	0.042	0.332
			10	0.018	0.139
sekat	pelat sekat	4	4	0.745	5.848
	penegar sekat	50x6	6	0.087	0.683
	penumpu vertikal	100x8	8	0.025	0.196
	penumpu horisontal	150x4, 50x6	4	0.031	0.241
			6	0.015	0.120
				total	21.595

blok 2

7.85 ton/m3

	Jenis konstruksi	Ukuran (mm)	t	volume (m3)	berat (ton)
Geladak	Pelat geladak	4	4	0.366	2.873
	Pembujur	50 x 5	5	0.067	0.526
	Deck side girder	225 x 5, 80 x 6	5	0.022	0.176
			6	0.010	0.075
	Pelintang	245 x 4, 50 x 6	4	0.120	0.942
			6	0.035	0.275
Sisi	Pelat sisi	4	4	0.258	2.025
	Pembujur	50 x 6	6	0.067	0.526
	Side stringer	150 x 4, 50 x 6	4	0.019	0.152
			6	0.010	0.076
	Pelintang	200 x 4, 50 x 6	4	0.056	0.440
			6	0.016	0.126
Alas	Pelat alas	4	4	0.377	2.959
	Pelat lunas	8	8	0.112	0.879
	Pembujur	80 x 6	6	0.152	1.193
	Pelintang	200 x 4, 50 x 6	4	0.053	0.416
			6	0.017	0.133
	Center girder	630 x 10, 100 x 10	10	0.102	0.801
	Plate floor	630 x 10, 150 x 8	10	0.190	1.492
			8	0.044	0.345
	Side girder	300x8, 100 x 10	8	0.036	0.283
			10	0.015	0.118
sekat	pelat sekat	4	4	0.272	2.135
	penegar sekat	50x6	6	0.053	0.416
	penumpu vertikal	100x8	8	0.019	0.149
	penumpu horisontal	150x4, 50X6	4	0.013	0.099
			6	0.006	0.050
				total	19.680

PERHITUNGAN KEBUTUHAN KAWAT LAS

SMAW
fillet joint

keterangan	panjang	faktor	panjang total	kampuh las			reinforcement		sectional area	volume (mm3)
				tebal	root	face	lebar	tinggi		
int A 4	2409878.973	1	2,409,879	4	2	4.83	4.83	1	24.14	58179625.01
int A 6	21000	1	21,000	6	2	6.24	6.24	2	49.94	1048763.64
int B 4.5	543820.8211	1	543,821	4.5	2	5.18	5.18	1	28.50	15499378.94
con 3.5	92288	1	92,288.00	6	2	6.24	6.24	1	43.70	4032845.77
con 4	426786	1	426786	4	2	4.83	4.83	1	24.14	10303525.49
con 6	-14580	1	-14580	6	2	6.24	6.24	1	43.70	-637123.91
con 8	-24062	1	-24062	8	2	7.66	7.66	1	68.91	-1658153.04
total										86768861.90

SMAW
butt joint

keterangan	panjang	faktor	panjang total	kampuh las		tinggi reinforcement	sectional area	volume (mm3)
				I	face			
con 4	344986	1	344986	4	5.66	1	13.66	4711423.52
con 6	36980	1	36980	6	8.49	1	26.49	979425.71
con 8	56062	1	56062	8	11.31	1	43.31	2428253.13
total								8119102.35

	FCAW (self shield)
volume las (mm3)	94887964.25
massa jenis (kg/mm3)	0.00000785
berat (kg)	744.871

berat konstruksi (ton)	20.717
berat konstruksi (kg)	20717.311

persentase berat elektrode (%)	3.595
--------------------------------	-------

efisiensi kawat las	0.780
kebutuhan kawat las (kg)	954.962
kebutuhan+margin 20% (kg)	1146

persentase (%)	5.531
----------------	-------

berat kapal total (kg)	83751.650
berat elektrode total (kg)	4632.628
berat elektrode total (ton)	4.633

harga electrode (Rp/kg)	20000
biaya electrode (Rp)	92,652,556.69

total (Rp)	92,652,556.69
------------	---------------

0.084220425

sub assembly	panjang (m)	jenis sambungan	faktor	panjang kampuh las (m)	panjang kampuh las (cm)	tinggi kampuh las (mm)
wrang pelat	66.25	intermitten B 4.5	0.25	16.56	1656.3	4.5
	66.25	intermitten B 4.5	0.25	16.56	1656.3	4.5
pelintang alas	71.47	intermitten B 4.5	0.25	17.87	1786.7	4.5
	71.47	intermitten B 4.5	0.25	17.87	1786.7	4.5
pelintang sisi	65.05	intermitten B 4.5	0.25	16.26	1626.3	4.5
	65.05	intermitten B 4.5	0.25	16.26	1626.3	4.5
pelintang geladak	241.60	intermitten B 4.5	0.25	60.40	6040.0	4.5
	241.60	intermitten B 4.5	0.25	60.40	6040.0	4.5
penumpu tengah	14.00	intermitten B 4.5	0.25	3.50	350.0	4.5
	14.00	intermitten B 4.5	0.25	3.50	350.0	4.5
penumpu samping	23.81	intermitten B 4.5	0.25	5.95	595.1	4.5
	23.81	intermitten B 4.5	0.25	5.95	595.1	4.5
senta sisi	14.00	intermitten B 4.5	0.25	3.50	350.0	4.5
	14.00	intermitten B 4.5	0.25	3.50	350.0	4.5
penumpu samping geladak	19.70	intermitten B 4.5	0.25	4.93	492.5	4.5
	19.70	intermitten B 4.5	0.25	4.93	492.5	4.5
penumpu sekat	24.45	intermitten B 4.5	0.25	6.11	611.3	4.5
	24.45	intermitten B 4.5	0.25	6.11	611.3	4.5

270.16

posisi		waktu	
blok	seksi	(menit)	(jam)
horizontal	horizontal	379.06	6.32
horizontal	horizontal	379.06	6.32
horizontal	horizontal	409.05	6.82
horizontal	horizontal	409.05	6.82
horizontal	horizontal	372.17	6.20
horizontal	horizontal	372.17	6.20
horizontal	horizontal	1,387.3	23.12
horizontal	horizontal	1,387.3	23.12
horizontal	horizontal	78.62	1.31
horizontal	horizontal	78.62	1.31
horizontal	horizontal	135.00	2.25
horizontal	horizontal	135.00	2.25
horizontal	horizontal	78.62	1.31
horizontal	horizontal	78.62	1.31
horizontal	horizontal	111.40	1.86
horizontal	horizontal	111.40	1.86
horizontal	horizontal	138.72	2.31
horizontal	horizontal	138.72	2.31
			#####

panel assembly (alas)	panjang (m)	jenis sambungan	faktor	panjang kampuh las (m)	panjang kampuh las (cm)	tinggi kampuh las (mm)
pelat alas + pelat alas	26.86	continuous 4	1	26.86	2686.20	4
	26.86	continuous 4	1	26.86	2686.20	2
pelat lunas + pelat lunas	1.00	continuous 4	1	1.00	100.00	4
	1.00	continuous 4	1	1.00	100.00	2
pelat lunas + alas	28.00	continuous 4	1	28.00	2800.00	4
	28.00	continuous 4	1	28.00	2800.00	2
pelat alas + penumpu tengah	14.00	intermitten A 6	0.75	10.50	1050.00	6
	14.00	intermitten A 6	0.75	10.50	1050.00	6
pelat alas + wrang pelat	89.11	intermitten B 4.5	0.25	22.28	2227.85	4.5
	89.11	intermitten B 4.5	0.25	22.28	2227.85	4.5
pelat alas + penumpu samping	23.81	intermitten B 4.5	0.25	5.95	595.13	4.5
	23.81	intermitten B 4.5	0.25	5.95	595.13	4.5
pelat alas + pelintang alas	63.10	intermitten B 4.5	0.25	15.78	1577.60	4.5
	63.10	intermitten B 4.5	0.25	15.78	1577.60	4.5
pelat alas + pembujur alas	206.89	intermitten A 4	0.75	155.17	15516.58	4
	206.89	intermitten A 4	0.75	155.17	15516.58	4
	299.95	intermitten A 4	1.75	524.91	52491.23	4
	299.95	intermitten A 4	1.75	524.91	52491.23	4
penumpu tengah + wrang pelat	30.60	continuous 8	1	30.6	3060	8
penumpu samping + wrang pelat	20.40	continuous 6	1	20.4	2040	6
wrang pelat + pelintang alas	59.91	continuous 4	1	59.908	5990.8	4
pembujur alas + wrang pelat	10.02	continuous 4	1	10.02	1002	4
	10.02	continuous 4	1	10.02	1002	4
pembujur alas + pelintang alas	2.04	continuous 4	1	2.04	204	4
	2.04	continuous 4	1	2.04	204	4
	7.50	continuous 4	1	7.5	750	4
	7.50	continuous 4	1	7.5	750	4

1730.92

posisi		posisi		waktu (menit)		waktu (jam)	
blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi
vertikal	vertikal	3	3	2534.96	2534.96	42.25	42.25
overhead	overhead	4	4	2397.59	2397.59	39.96	39.96
downhand	downhand	1	1	20.33	20.33	0.34	0.34
overhead	overhead	4	4	70.01	70.01	1.17	1.17
downhand	downhand	1	1	641.33	641.33	10.69	10.69
overhead	overhead	4	4	2500.01	2500.01	41.67	41.67
horizontal	horizontal	2	2	240.22	240.22	4.00	4.00
horizontal	horizontal	2	2	240.22	240.22	4.00	4.00
horizontal	horizontal	2	2	510.53	510.53	8.51	8.51
horizontal	horizontal	2	2	510.53	510.53	8.51	8.51
horizontal	horizontal	2	2	135.00	135.00	2.25	2.25
horizontal	horizontal	2	2	135.00	135.00	2.25	2.25
vertikal	vertikal	3	3	1482.04	1482.04	24.70	24.70
vertikal	vertikal	3	3	1482.04	1482.04	24.70	24.70
downhand	downhand	1	1	3566.14	3566.14	59.44	59.44
overhead	overhead	4	4	13945.95	13945.95	232.43	232.43
horizontal	horizontal	2	2	12070.90	12070.90	201.18	201.18
horizontal	horizontal	2	2	12070.90	12070.90	201.18	201.18
vertikal	vertikal	3	3	2892.03	2892.03	48.20	48.20
vertikal	vertikal	3	3	1922.05	1922.05	32.03	32.03
horizontal	horizontal	2	2	1375.80	1375.80	22.93	22.93
vertikal	vertikal	3	3	934.97	934.97	15.58	15.58
vertikal	vertikal	3	3	934.97	934.97	15.58	15.58
vertikal	vertikal	3	3	176.87	176.87	2.95	2.95
vertikal	vertikal	3	3	176.87	176.87	2.95	2.95
downhand	downhand	1	1	169.83	169.83	2.83	2.83
overhead	overhead	4	4	656.03	656.03	10.93	10.93
						1027.98	1027.98
						128.50	128.50

panel assembly (sekat)	panjang (m)	jenis sambungan	faktor	panjang kampuh las (m)	panjang kampuh las (cm)	tinggi kampuh las (mm)
pelat sekat + pelat sekat	21.402	continuous 4	1	21.40	2140.20	4
	21.402	continuous 4	1	21.40	2140.20	2
pelat sekat + penumpu sekat	54.89	intermitten B 4.5	0.25	13.72	1372.30	4
	54.89	intermitten B 4.5	0.25	13.72	1372.30	4
pelat sekat + penegar sekat	205.27	intermitten A 4	0.75	153.95	15395.10	4.5
	205.27	intermitten A 4	0.75	153.95	15395.10	4.5
penumpu sekat + penumpu sekat	2.00	continuous 4	1.00	2.00	200.00	4
	2.00	continuous 4	1.00	2.00	200.00	4
penumpu sekat + penegar sekat	3	continuous 4	1	3.00	300.00	4
	3	continuous 4	1	3.00	300.00	4

388.15

panel assembly (sisi- portside+starboard)	panjang (m)- port side	jenis sambungan	faktor	panjang kampuh las (m)-2 kali port+starboard	panjang kampuh las (cm)	tinggi kampuh las (mm)
pelat sisi + pelat sisi	13.2	continuous 4	1	26.40	2640.00	4
dibalik	13.2	continuous 4	1	26.40	2640.00	2
plat sisi + senta sisi	14	intermitten A 4	0.75	21.00	2100.00	4
	14	intermitten A 4	0.75	21.00	2100.00	4
pelat sisi + pelintang sisi	37.4	intermitten B 4.5	0.25	18.70	1870.00	4.5
	37.4	intermitten B 4.5	0.25	18.70	1870.00	4.5
pelat sisi + pembujur sisi	111.69	intermitten A 4	0.75	167.53	16753.28	4
	111.69	intermitten A 4	0.75	167.53	16753.28	4
senta sisi + pelintang sisi	6.8	continuous 4	1	13.60	1360.00	4
	6.8	continuous 4	1	13.60	1360.00	4
pelintang sisi + pembujur sisi	4.08	continuous 4	1	8.16	816.00	4
	4.08	continuous 4	1	8.16	816.00	4

510.79

panel assembly (geladak)	panjang (m)	jenis sambungan	faktor	panjang kampuh las (m)	panjang kampuh las (cm)	tinggi kampuh las (mm)
pelat gldk + pelat gldk	90.586	continuous 4	1	90.59	9058.60	4
	90.586	continuous 4	1	90.59	9058.60	2
pelat gldk + penumpu gldk	19.70	intermitten A 4	0.75	14.78	1477.50	4
	19.70	intermitten A 4	0.75	14.78	1477.50	4
pelat gldk + pelintang gldk	241.60	intermitten B 4.5	0.25	60.40	6040.03	4.5
	241.60	intermitten B 4.5	0.25	60.40	6040.03	4.5
pelat gldk + pembujur gldk	223.47	intermitten A 4	0.75	167.60	16760.27	4
	223.47	intermitten A 4	0.75	167.60	16760.27	4
penumpu gldk + pelintang gldk	4.8	continuous 4	1	4.80	480.00	4
	4.8	continuous 4	1	4.80	480.00	4
pelintang gldk + pembujur gldk	5.72	continuous 4	1	5.72	572.00	4
	5.72	continuous 4	1	5.72	572.00	4

687.77

blok assembly (alas + sekat)	panjang (m)	jenis sambungan	faktor	panjang kampuh las (m)	panjang kampuh las (cm)	tinggi kampuh las (mm)
pelat alas + pelat sekat melintang	13.64	continuous 3.5	1	13.64	1363.60	3.5
pelat alas + pelat sekat memanjang	8.40	continuous 3.5	1	8.40	840.00	3.5
pelat sekat memanjang + pelat sekat melintang	10.20	continuous 3.5	1	10.20	1020.00	3.5
	10.20	continuous 3.5	1	10.20	1020.00	3.5
	15.04	continuous 3.5	1	15.04	1504.40	3.5
	15.04	continuous 3.5	1	15.04	1504.40	3.5
penumpu sekat melintang + penumpu sekat memanjang	4.00	continuous 4	1	4.00	400.00	4
	4.00	continuous 4	1	4.00	400.00	4
blok assembly (alas + sekat + 2 sisi)						
pelat alas + pelat sisi	28.00	continuous 4	1	28.00	2800.00	4
	28.00	continuous 4	1	28.00	2800.00	2
pelintang alas + pelintang sisi	8.50	continuous 4	1	8.50	850.00	4
	8.50	continuous 4	1	8.50	850.00	4

posisi		posisi		waktu (menit)		waktu (jam)	
blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi
downhand	downhand	1	1	2080.81	2080.81	34.68	34.68
downhand	downhand	1	1	2079.95	2079.95	34.67	34.67
horizontal	horizontal	2	2	337.75	337.75	5.63	5.63
horizontal	horizontal	2	2	337.75	337.75	5.63	5.63
horizontal	horizontal	2	2	1387.33	1387.33	23.12	23.12
horizontal	horizontal	2	2	1387.33	1387.33	23.12	23.12
horizontal	horizontal	2	2	3852.78	3852.78	64.21	64.21
horizontal	horizontal	2	2	3852.78	3852.78	64.21	64.21
vertikal	vertikal	3	3	439.07	439.07	7.32	7.32
vertikal	vertikal	3	3	439.07	439.07	7.32	7.32
vertikal	vertikal	3	3	526.47	526.47	8.77	8.77
vertikal	vertikal	3	3	526.47	526.47	8.77	8.77
						287.46	287.46
						35	35

posisi		posisi		waktu (menit)		waktu (jam)	
blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi
horizontal	horizontal	2	2	311.35	311.35	5.19	5.19
horizontal	horizontal	2	2	190.92	190.92	3.18	3.18
downhand	downhand	1	1	231.72	231.72	3.86	3.86
overhead	overhead	4	4	898.78	898.78	14.98	14.98
vertikal	vertikal	3	3	1412.01	1412.01	23.53	23.53
vertikal	vertikal	3	3	1412.01	1412.01	23.53	23.53
downhand	downhand	1	1	89.33	89.33	1.49	1.49
overhead	overhead	4	4	341.03	341.03	5.68	5.68
horizontal	horizontal	2	2	641.92	641.92	10.70	10.70
horizontal	horizontal	2	2	641.12	641.12	10.69	10.69
horizontal	horizontal	2	2	193.42	193.42	3.22	3.22
horizontal	horizontal	2	2	193.42	193.42	3.22	3.22

pelat sisi + pelat sekat	9.08	continuous 3.5	1	9.08	908.20	4.5
	9.08	continuous 3.5	1	9.08	908.20	4.5
senta sisi + penumpu sekat	0.80	continuous 3.5	1	0.80	80.00	4
	0.80	continuous 3.5	1	0.80	80.00	4
blok assembly (alas + sekat + sisi + geladak)						
penumpu sekat + penumpu geladak	0.80	continuous 4	1	0.80	80.00	4
	0.80	continuous 4	1	0.80	80.00	4
penegar sekat + pembujur geladak	1.35	continuous 4	1	1.35	135.00	4
	1.35	continuous 4	1	1.35	135.00	4
pelat sekat + pelat geladak	16.26	continuous 4	1	16.26	1625.50	4
	16.26	continuous 4	1	16.26	1625.50	4
pelintang sisi + pelintang geladak	1.00	continuous 4	1	1.00	100.00	4
	1.00	continuous 4	1	1.00	100.00	4
pelat sisi + pelat geladak	14.00	continuous 4	1	14.00	1400.00	4
	14.00	continuous 4	1	14.00	1400.00	4

240.10

blok joining (BLOK 2 + BLOK 3)	panjang (m)	jenis sambungan	faktor	panjang kampuh las (m)	panjang kampuh las (cm)	tinggi kampuh las (mm)
penumpu tengah + penumpu tengah	0.7	continuous 8	1	0.70	70.00	8
	0.7	continuous 8	1	0.70	70.00	
penumpu samping + penumpu samping	1	continuous 6	1	1.00	100.00	6
	1	continuous 6	1	1.00	100.00	6
pembujur alas + pembujur alas	1.9	continuous 4	1	1.90	190.00	4
	1.9	continuous 4	1	1.90	190.00	4
penumpu sekat + penumpu sekat	0.4	continuous 4	1	0.40	40.00	4
	0.4	continuous 4	1	0.40	40.00	4
penegar sekat + penegar sekat	0.8	continuous 4	1	0.80	80.00	4
	0.8	continuous 4	1	0.80	80.00	4
senta sisi + senta sisi	0.4	continuous 4	1	0.40	40.00	4
	0.4	continuous 4	1	0.40	40.00	4
pembujur sisi + pembujur sisi	0.8	continuous 4	1	0.80	80.00	4
	0.4	continuous 4	1	0.40	40.00	4

vertikal	vertikal	3	3	846.11	846.11	14.10	14.10
vertikal	vertikal	3	3	846.11	846.11	14.10	14.10
downhand	downhand	1	1	15.73	15.73	0.26	0.26
overhead	overhead	4	4	53.03	53.03	0.88	0.88
vertikal	vertikal	3	3	59.07	59.07	0.98	0.98
vertikal	vertikal	3	3	59.07	59.07	0.98	0.98
vertikal	vertikal	3	3	111.32	111.32	1.86	1.86
vertikal	vertikal	3	3	111.32	111.32	1.86	1.86
overhead	overhead	4	4	1443.98	1443.98	24.07	24.07
overhead	overhead	4	4	1443.98	1443.98	24.07	24.07
vertikal	vertikal	3	3	78.07	78.07	1.30	1.30
vertikal	vertikal	3	3	78.07	78.07	1.30	1.30
downhand	downhand	1	1	319.33	319.33	5.32	5.32
overhead	overhead	4	4	1241.03	1241.03	20.68	20.68
						221.05	221.05
						27	27

posisi		posisi		waktu (menit)		waktu (jam)	
blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi
vertikal	vertikal	3	3	51.53	51.53	0.86	0.86
vertikal	vertikal	3	3	47.61	47.61	0.79	0.79
vertikal	vertikal	3	3	79.05	79.05	1.32	1.32
vertikal	vertikal	3	3	79.05	79.05	1.32	1.32
vertikal	vertikal	3	3	163.57	163.57	2.73	2.73
vertikal	vertikal	3	3	163.57	163.57	2.73	2.73
vertikal	vertikal	3	3	21.07	21.07	0.35	0.35
vertikal	vertikal	3	3	21.07	21.07	0.35	0.35
vertikal	vertikal	3	3	59.07	59.07	0.98	0.98
vertikal	vertikal	3	3	59.07	59.07	0.98	0.98
downhand	downhand	1	1	6.53	6.53	0.11	0.11
overhead	overhead	4	4	17.03	17.03	0.28	0.28
downhand	downhand	1	1	15.73	15.73	0.26	0.26
overhead	overhead	4	4	17.03	17.03	0.28	0.28

penumpu geladak + penumpu geladak	0.6	continuous 4	1	0.60	60.00	4
	0.6	continuous 4	1	0.60	60.00	4
pembujur geladak + pembujur geladak	1.1	continuous 4	1	1.10	110.00	4
	1.1	continuous 4	1	1.10	110.00	4
		continuous 4	1			4
pelat lunas + pelat lunas	1	continuous 4	1	1.00	100.00	4
	1	continuous 4	1	1.00	100.00	4
pelat alas + pelat alas	4.48	continuous 4	1	4.48	447.70	4
	4.48	continuous 4	1	4.48	447.70	4
pelat sekat + pelat sekat	2.10	continuous 4	1	2.10	210.20	4
	2.10	continuous 4	1	2.10	210.20	4
	5.00	continuous 4	1	5.00	500.00	4
	5.00	continuous 4	1	5.00	500.00	4
pelat sisi+pelat sisi	4.40	continuous 4	1	4.40	440.00	4
	4.40	continuous 4	1	4.40	440.00	4
pelat geladak + pelat geladak	8.16	continuous 4	1	8.16	815.80	4
	8.16	continuous 4	1	8.16	815.80	4

65.27

intermitten A 4	2409.879
intermitten A 6	21
intermitten B 4.5	543.8208
continuous 3.5	92.288
continuous 4	771.772
continuous 6	22.4
continuous 8	32

3893.2

posisi	panjang (m)	waktu (menit)	produktifitas (m/JO)
downhand	1	14.24	4.21
horizontal	1	15.94	3.76
vertikal	1	53.27	1.13
overhead	1	43.27	1.39

BLOK	panjang (m)			JO		
posisi	sub assembly	assembly	joining	sub assembly	assembly	joining
downhand	270.16	534.84	18.84	64.12	126.94	4.47
horizontal		2480.20	0.00	0.00	658.91	0.00
vertikal		262.65	24.60	0.00	233.19	21.84
overhead		280.04	21.84	0.00	201.95	15.75
Total (JO)				64.12	1220.98	42.06
Total JO efisien (120%)				76.94	1465.18	50.47

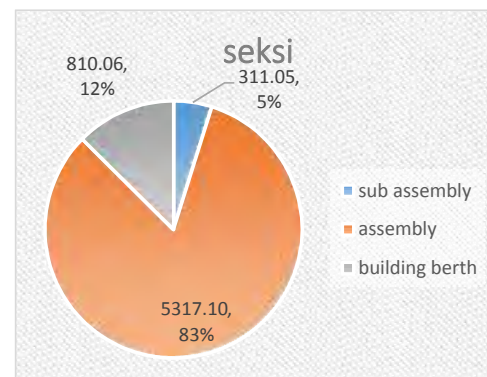
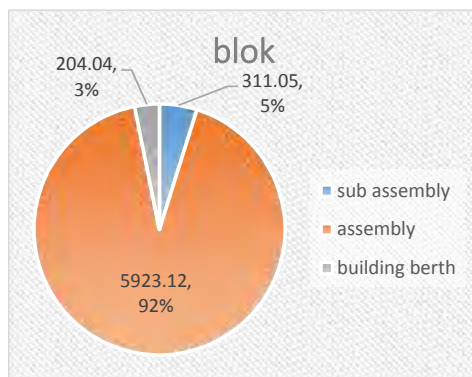
SEKSI	panjang (m)			JO		
posisi	sub assembly	assembly	joining	sub assembly	assembly	joining
downhand	270.16	505.84	47.84	64.12	120.05	11.35
horizontal		2385.16	95.04	0.00	633.66	25.25
vertikal		208.09	79.16	0.00	184.75	70.28
overhead		218.53	83.35	0.00	157.59	60.11
Total (JO)				64.12	1096.06	166.98
Total JO efisien (120%)				76.94	1315.27	200.38

			fasilitas			
metode yang mungkin	langkah pembangunan	penerapan pd konstruksi memanjang	bengkel sub-assembly	assembly area	building berth	crane
kerangka	lihat lampiran	X	O	X	O	X
seksi	lihat lampiran	O	O	O	O	3-5 ton
blok	lihat lampiran	O	O	O	O	10-35 ton

metode		
langkah produksi	blok	seksi
sub assembly	O	O
panel/section assembly	O	O
block assembly	O	X
blok/section joining	O	O

			berat blok (ton)	20.72	berat kapal (ton)	83.75
beban pekerjaan (JO)			produktifitas (JO/ton)		beban pekerjaan (JO)	
langkah produksi	blok	seksi	blok	seksi	blok	seksi
sub assembly	76.94	76.94	3.71	3.71	311.05	311.05
assembly	1465.18	1315.27	70.72	63.49	5923.12	5317.10
blok/section joining	50.47	200.38	2.44	9.67	204.04	810.06
					6438.21	6438.21

bengkel	blok	seksi
sub assembly	311.05	311.05
assembly	5923.12	5317.10
building berth	204.04	810.06



DAFTAR PUSTAKA

- 123rf. (2015). *Mobile Crane*. Dipetik 2 Desember 2015, dari 123rf.com: https://www.123rf.com/stock-photo/mobile_crane.html?mediapopup=10846109
- angliahandling. (2016). *Cranes Lifting Jib*. Dipetik 2 Desember 2015, dari angliahandling.com: <http://www.angliahandling.co.uk/cranes-lifting-jib.html>
- ASME. (2010). *ASME Section IX*. Miami: ASME.
- beacukai. (2015). *Tambahan Kapal Patroli Bantu Bea Cukai Perkuat Pengawasan Laut*. Dipetik 2 Desember 2015, dari beacukai.go.id: <http://www.beacukai.go.id/berita/tambahan-kapal-patroli-bantu-bea-cukai-perkuat-pengawasan-laut.html>
- cranedepot. (2016). *Double Girder Top Running Bridge Crane*. Dipetik 12 Desember 2015, dari cranedepot.com: <http://cranedepot.com/Bridge-Cranes/Double-Girder-Top-Running-Bridge-Crane/>
- crane-manufacturers. (2015). *Rubber Tyred Gantry Crane*. Dipetik 12 Desember 2015, dari cranemanufacturers.com: <http://www.crane-manufacturers.com/rubber-tyred-gantry-crane.html>
- ESAB. (2015). *Electrode Calculation*. Dipetik 19 Desember 2015, dari esabna.com: http://www.esabna.com/euweb/fm_handbook/577fm8_1.htm
- fassmer. (2015). *60m Coastal Vessel*. Retrieved from fassmer.de: <http://www.fassmer.com>
- fluidor. (2016). *Conveyor System*. Dipetik 1 Desember 2015, fluidor.com: <http://www.fluidor.com/conveyor-systems.html>
- globalmetals. (2015). *high tensile alloy*. Dipetik 1 Desember 2015, globalmetals.com.au.
- Gunawan, I. (2007). *Studi Kelayakan Penggantian Proses Pengelasan SMAW dengan Proses Pengelasan FCAW di PT Dok dan Perkapalan Surabaya Ditinjau dari Aspek Teknis dan Ekonomis*. Surabaya: ITS.
- indomiliter. (2014). *KRI Sampari 628 Generasi Pertama KCR 60 TNI AL*. Dipetik 1 Desember 2015, dari www.indomiliter.com: <http://www.indomiliter.com/kri-sampari-628-generasi-pertama-kcr-60-tni-al/>
- Jenney, O'Brien. (2001). *Welding Science and Technology*. Miami: AWS.

- kkp. (2016). *KKP Siap Tambah Perkuat Pengawasan Illegal Fishing*. Dipetik 18 Desember 2015, dari kkp.go.id: <http://kkp.go.id/index.php/galeri/kkp-siap-tambah-perkuat-pengawasan-ilegal-fishing/#>
- Larry, J. (2004). *Welding - Principles and Applications*. Albany: Delmar Publishers Inc.
- LR. (2009). *Rules and Regulation for the Classification of Ship*. London: Lloyd's Register Group Limited.
- LR. (2014). *Rules and Regulation for the Classification of Special service Craft*. London: Lloyd's Register Group Limited.
- LR. (2014). *Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials*. London: Lloyd's Register Group Limited.
- Machinistic. (2016). *Line heating is a Flourishing Metal Fabrication at Machinistic.inc*. Dipetik 1 Desember 2015, dari machinistic.com: <http://www.machinistsinc.com/blog/line-heating-is-a-flourishing-metal-fabrication-technology-at-machinists-inc/>
- MGsrl. (2007). *Plate Straightenning*. Dipetik 18 Desember 2015, dari mgsrl.com: <http://www.mgsrl.com/index.php?id=17702>
- O'brien, L. R. (1991). *Welding Handbook, Volume 2 - Welding Process*. Miami: American Welding Society.
- Ourway. (2015). *Services*. Dipetik 1 Desember 2015, dari ourwaygroup.co: <http://www.ourwaygroup.com/services.html>
- Schlott. (1980). *Shipbuilding Technology*. Surrabaya: ITS.
- Storch, R. L. (1995). *Ship Production Second Edision*. New Jersey: SNAME.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Malang pada 1 Mei 1993, penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Setelah lulus dari masa pendidikannya di SMAN 1 Gondanglegi, penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pemilihan jurusan ini dilatar belakangi oleh ketertarikan penulis pada bidang rancang bangun kapal. Dengan tujuan untuk lebih memperdalam ilmu tentang pembangunan kapal, penulis memilih untuk mengambil bidang keahlian Industri Perkapalan.

Selama menempuh pendidikannya di Jurusan Teknik Perkapalan, penulis lebih banyak menghabiskan waktunya untuk belajar. Dalam waktu luangnya, penulis menyempatkan diri untuk terlibat dalam beberapa event kemahasiswaan jurusan (SAMPAN 6, 7, 8). Selain itu, penulis juga terlibat dalam komunitas yang di kelola oleh UPT Pusat Budaya dan Bahasa ITS dan sempat berpartisipasi dalam Festival Tari Yosakoi yang merupakan even kerjasama antara Konsulat Jendral Jepang, Pemerintah Kota Kochi dan Pemerintah Kota Surabaya.